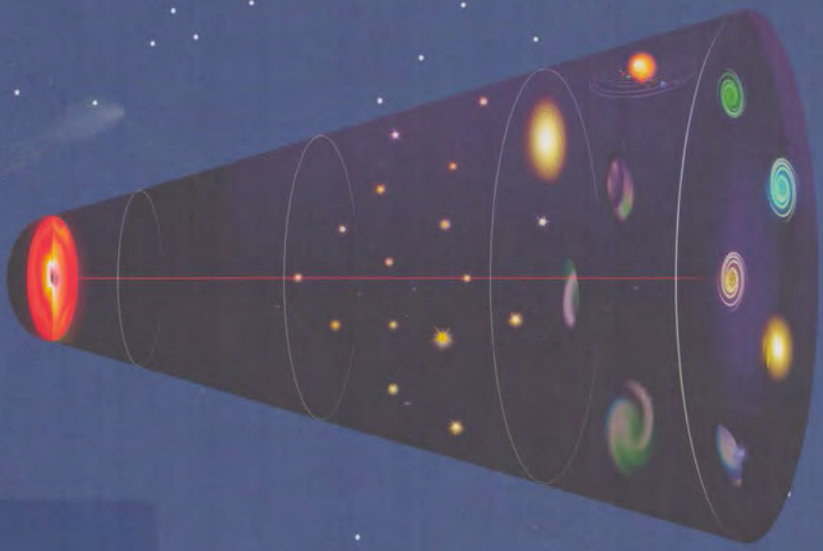
SEAN CARROLL

ZAMANIN KOZMOLOJİK TARİHİ



Büyük Patlamadan Bebek Evrenlere, Zamanın Peşinde

ALFA | BİLİM

2. BASKI

3295 | ALFA | BİLİM | 139

ZAMANIN KOZMOLOJİK TARİHİ

SEAN CARROLL

California Teknoloji Enstitüsünde profesör olarak görev yapan Sean Carroll'ın uzmanlık alanı kozmolojidir. Özellikle kara enerji ve genel görelilik konularında çok sayıda makalesi vardır. Ayrıca *Nature, The New York Times, Sky & Telescope* ve *New Scientist* dergilerinde bilim yazıları yazmaktadır. NASA, NSA, Alfred P. Sloan Vakfı, Amerikan Fizik Derneği, Amerikan Fizik Enstitüsü ve Londra Kraliyet Topluluğundan aldığı birçok ödül bulunmaktadır. Yazar olan eşi Jennifer Ouellette ile birlikte Los Angeles'ta yaşamaktadır.

MEHMET MORALI

1956'da İstanbul'da doğdu. Saint Joseph Lisesini ve Boğaziçi Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümünü bitirdi. 1996'dan bu yana İngilizce ve Fransızcadan çeviri yapıyor. Önemli çevirilerinden bazıları şunlardır: David Harvey, *Sosyal Adalet ve Şehir* (2006, Metis); Mark Mazower, *Karanlık Kıta: Avrupa'nın 20. Yüzyılı* (2003, 2008, Bilgi Üniversitesi); Olivier Roy, *Yeni Orta Asya ya da Ulusların İmal Edilişi* (2009, Metis); Sevtap Demirci, *Belgelerle Lozan: Taktik-Stratejik-Diplomatik Mücadele, 1922-1923* (2011, Alfa); Nadia El Cheikh, *Arapların Gözüyle Bizans* (2012, Alfa); M. Naim Turfan, *Jön Türklerin Yükselişi* (2013, Alfa); Susan Wise Bauer, *Antik Dünya* (2013, Alfa), *Ortaçağ Dünyası* (2014, Alfa), *Rönesans Dünyası* (2015, Alfa) ve *Batı Biliminin Öyküsü* (2016, Alfa).

Zamanın Kozmolojik Tarihi
© 2016, ALFA Basım Yayım Dağıtım San. ve Tic. Ltd. Şti.

From Eternity to Here
© 2010, Sean Carroll

Kitabın Türkçe yayın hakları Alfa Basım Yayım Dağıtım Ltd. Şti.'ne aittir. Tanıtım amacıyla, kaynak göstermek şartıyla yapılacak kısa alıntılar dışında, yayıncının yazılı izni olmaksızın hiçbir elektronik veya mekanik araçla çoğaltılamaz. Eser sahiplerinin manevi ve mali hakları saklıdır.

Yayıncı ve Genel Yayın Yönetmeni M. Faruk Bayrak
Genel Müdür Vedat Bayrak
Yayın Yönetmeni Mustafa Küpüşoğlu
Dizi Editörü Kerem Cankoçak
Çeviri Mehmet Moralı
Redaksiyon Mehmet Ata Arslan
Kapak Tasarımı Füsun Turcan Elmasoğlu
Sayfa Tasarımı Mürüvet Durna

ISBN 978-605-171-621-3
1. Basım: Ocak 2018
2. Basım: Ekim 2020

Baskı ve Cilt
Melisa Matbaacılık
Çiftehavuzlar Yolu Acar Sanayi Sitesi No: 8 Bayrampaşa-İstanbul
Tel: 0(212) 674 97 23 Faks: 0(212) 674 97 29
Sertifika no: 45099

Alfa Basım Yayım Dağıtım San. ve Tic. Ltd. Şti.
Alemdar Mahallesi Ticarethane Sokak No: 15 34110 Cağaloğlu-İstanbul
Tel: 0(212) 511 53 03 Faks: 0(212) 519 33 00
www.alfakitap.com - info@alfakitap.com
Sertifika no: 43949

SEAN CARROLL

ZAMANIN KOZMOLOJİK TARİHİ

Büyük Patlamadan Bebek Evrenlere,
Zamanın Peşinde

Çeviri
Mehmet Moralı

ALFA | BİLİM

Jennifer'a
Her Zaman

İÇİNDEKİLER

Teşekkürler, 9
Giriş, 11

Birinci Kısım
ZAMAN, DENEYİM VE EVREN

1 Geçmiş, Şimdiki Anıdır, 19
Zamanın farklı anlamları vardır: farklı anların başlığı, olaylar arasında geçen süre ve bir değişme ortamı. Geçmişi, şimdiyi ve geleceği aynı ölçüde gerçekmiş gibi düşünebiliriz.

2 Entropinin Baskısı, 40
Zamanın yönü Termodinamiğin İkinci Yasası tarafından belirlenir: kapalı bir sistemde, entropi yalnızca yükselir ya da aynı kalır. Entropi bir sistemin düzensizliğini ölçer.

3 Zamanın Başı ve Sonu, 62
Evrenin zaman içinde sıcak, yoğun bir Büyük Patlamayla başlayıp (ki bu gerçek başlangıç olmayabilir), genişleyip yıldızları ve galaksileri oluşturarak ve nihayetinde boşluğa doğru hızlanacak olan evrimi

İkinci Kısım
EINSTEIN'IN EVRENİNDE ZAMAN

4 Zaman Kişiseldir, 93
Einstein'ın Özel Görelilik Kuramı. Işık hızının üzerine çıkamazsınız; uzay-zamanda bir ışık konisinin içinde kalırsınız. Zaman farklı güzergâhlarda geçen süreyi ölçer.

5 Zaman Esnektir, 113
Einstein'ın Genel Görelilik Kuramı. Uzay-zaman eğiktir, biz de bunu kütleçekim olarak deneyimleriz. Kara deliklerin ve evrenin genişlemesinin altında uzay-zamanın eğikliği yatar.

6 Zamanda Dolanmak, 126

Kapalı zamansal eğriler, göreliliğin kurallarını çiğnemeden geçmişi ziyaret etmenizi sağlar. Bu türden bir zaman makinesi mutlaka paradokslara neden olmaz, ama fizik yasalarına göre yaratılmaları olanaksız olabilir.

Üçüncü Kısım

ENTROPİ VE ZAMAN OKU

7 Zamanı Tersine İşletmek, 161

Fiziğin temel yasaları, anladığımız kadarıyla, bilgiyi korur: gelecek ve geçmiş halihazırdaki durum üzerine kusursuz bilgiden hareketle öngörülebilir ve yeniden canlandırılabilir. Mikroskobik süreçler tersinirdirler.

8 Entropi ve Düzensizlik, 193

Ludwig Boltzmann modern entropi anlayışımızı buldu: mikroskobik bileşenlerin aynı makroskobik sistemi oluşturmak için düzenlenebilecekleri olasılıkların sayısı. Entropinin yükselmesi doğaldır, ama yalnızca entropinin çok düşük başladığı yolundaki "Geçmiş Varsayımı"nı kabul edersek.

9 Bilgi ve Yaşam, 237

Entropinin yükselişi yaşam deneyimimizi besler: geçmişi anımsama, serbest enerjiyi metabolize etmek ve bilgiyi işlemek. Maxwell'in şeytanı entropi ile bilgi arasındaki bağlantıyı gösterir.

10 Yinelenen Kabuslar, 265

Sonlu bir sistem, zamanının çoğunu, ara sıra düşük entropili dalgalanmalarla yüksek entropili denge durumunda geçirir. Bütün zaman boyunca süren sonlu bir evren tam da bu şekilde davranır ve gözlemcilerin çoğunluğu bedensiz "Boltzmann beyinleri" olacaktır.

11 Kuantum Zamanı, 297

Kuantum mekaniği, gözlemleyebildiğimizin var olandan çok daha az olduğunu söyler. Gözlemleme eylemi tersinmez gibidir. Bir yorumlama, tersinmezliğin yalnızca görünürde olduğunu, çünkü diğer dallarla teması kaybeden "dalga fonksiyonunun dallarında" var olduğumuzdur.

Dördüncü Kısım

MUTFAKTAN ÇOKLU EVRENE

12 Kara Delikler: Zamanın Sonları, 335

Stephen Hawking kara deliklerin tamamen kara olmadıklarını gösterdi: ışınım salarlar. Bu da entropilerinin olduğu ve eninde sonunda buharlaşacakları anlamına gelir. Kara delikler entropi ile kütleçekim arasındaki bağlantı üzerine can alıcı bir ipucu sağlar.

13 Evrenin Yaşamı, 370

Büyük Patlama yakınlarında, evrenin entropisi aşırı düşüktü. Evren genişlerken, kütleçekim yıldızları, galaksileri ve kara delikleri oluşturmak üzere bir araya çekerken yükseldi. Ama hâlâ olabileceğinden çok düşüktür; gerçekten yüksek entropili bir durum boş uzaya benzer.

14 Şişme ve Çoklu Evren, 405

Erken evrenin pürüzsüz durumu şişmeyle açıklanabilir: çok erken zamanlardaki bir yüksek enerjili hızlanma dönemi. Ama şişme de evrenin daha da düşük entropili bir durumda başlamasını gerektirir; kendi başına, sorularımızı yanıtlamaz. Ebedi şişme ve çoklu evren biçiminde yeni olanaklar açar.

15 Yarından Geçmişe, 435

Gözlemlenen zaman okumuz için, temelde tersinmez yasalar ve fizik yasalarının dışında bir sınır koşulu da dahil olmak üzere bir dizi olası açıklama vardır. Oku yalnızca tersinir yasalar kullanarak açıklayabilmek, gözlemlediğimiz evrenimizi zamanda simetrik bir çoklu evrenin içine yerleştirmemizi gerektirir. Bu ve başka spekülatif senaryolar, süregiden araştırmaların konusudur.

16 Sonsöz, 469

Evrenin kökeni ve zaman oku doğal dünya anlayışımızdaki önemli çözülmemiş sorunlardır. Ama bunların günün birinde fizik yasaları kullanılarak çözüleceğini ummak için her türlü neden mevcuttur. Bu soruları yanıtlama çabası her şeyi anlamlı kılmaya yardımcı olur.

Ek: Matematik, 481

Kaynakça, 488

Dizin, 506

TEŞEKKÜRLER

Bir kitaba düşünceden yayıma rehberlik etmek önemli bir işbirliği çalışmasıdır ve yol boyunca yardımlarından dolayı teşekkürü hak eden çok insan var. Bu kitap daha çok erken safhalarındayken, olağanüstü yetenekli bir bilim yazarı olan bir kişiyle tanışmak, âşık olmak ve evlenmek gibi bir şansım oldu. Kitabı muazzam ölçüde geliştiren ve yolculuğu değer kılan Jennifer Ouelette'e verilebilecek tüm teşekkürler.

Müsveddenin taslaklarını birçok dostuma gönderdim ve onlar da kitabın geliştirilmesi için dikkat çekici bir iyi niyetle rahatsız edici hassasiyette önerilerde bulundular. Scott Aaronson, Allyson Beatrice, Jennie

Chen, Stephen Flood, David Grae, Lauren Gunderson, Robin Hanson, Matt Johnson, Chris Lackner, Tom Levenson, Karen Lorre, George Musser, Huw Price, Ted Pyne, Mari Ruti, Alex Singer ve Mark Trodden'a yol boyu dürüst kalmamı sağladıkları için muazzam teşekkürler. Sanırım çoğu, yakın gelecekte kitaplar yazacak ve ben de hepsini okumaktan mutluluk duyacağım.

Yıllardır zaman oku ve kitabın içerdiği diğer konularda meslektaşım bilim insanlarıyla konuşuyorum ve kimin düşüncelerime hangi katkıda bulunduğunu ayırt etmek çok zor. Yukarıda adı geçen okuyuculara ek olarak, Anthony Aguirre, David Albert, Andreas Albrecht, Tom Banks, Raphael Bousso, Eddie Farhi, Brian Greene, Jim Hartle, Kurt Hinterbichler, Tony Leggett, Andrei Linde, Laura Mersini, Ken Olum, Don Page, John Preskill, Iggy Sawicki, Cosma Shalizi, Mark Srednicki, Kip Thorne, Alex Vilenkin ve Robert

Wald'a (ve çok ayıp ederek adlarını burada anmayı ihmal ettiğim başkalarına), yıllar boyu süren konuşmalarımız için teşekkür etmek isterim. Müsveddeleri titizlikle okumasının yanında zaman okunu ilk ciddiye aldığım sıralarda değerli bir iş arkadaşım olan Jennie Chen'e özellikle teşekkür ederim.

Yakın zamanlarda, ben kitabı bitirmeye çalışırken araştırma projelerimizi sürdüren meslektaşlarım için çok ihmalkâr bir iş arkadaşı oldum. Bu yüzden Lotty Ackerman, Matt Buckley, Claudia de Rham, Tim Dulaney, Adrienne Erickcek, Moira Gresham, Matt Johnson, Marc Kamionkowski, Sonny Mantry, Michael Ramsey-Musolf, Lisa Randall, Heywood Tam, Chien-Yao Tseng, Ingunn Wehus ve Mark Wise'a son günlerde, dikkatimi işime tam anlamıyla veremediğim sürede bana katlandıkları için teşekkürlerimi/özürlerimi sunarım.

Katinka Matson ve John Brockman, özgün mefhumlarımı bir kitap olacak anlamlı fikirlere dönüştürmekte ve genelde işlerin gerçekleşmesini sağlamakta aracı oldular. Editörüm Stephen Morrow'la bu kitap düşünülmeden yıllar önce karşılaşmıştım ve onunla çalışma şansına sahip olmak bir zevk oldu. Jason Torchinsky benim cılız karalamalarımı alıp inandırıcı illüstrasyonlara dönüştürdü. Michael Bérubé, Ellipt Tarabour'un aracılığıyla, bir şekilde kitap henüz yazılmadan bir görüş sunmayı başardı. Ama zamanın doğası üzerinde bir kitaptan başka ne beklenebilirdi ki?

Ben uzun süre evde ya da ofiste çalışınca rahatsız olan türde bir insanım, bu yüzden sık sık fizik kitaplarımı ve yazılarımı alıp mekân değişikliği olsun diye bir restorana ya kafeye götürürüm. Kaçınılmaz olarak, bir yabancı gelip ne okuduğumu sorar ve –tüm o itici matematik ve bilim karşısında kaçacaklarına– kozmoloji, kuantum mekaniği ya da evren üzerine başka sorular sorarlar. Londra'daki bir pub'da, bir barmen Scott Dodelson'ın *Modern Cosmology*'sinin ISBN numarasını bir kağıda karalayıverdi; Chicago'daki Green Mill jazz kulübünde, kara enerjiyi açıkladığım için bir içki ikram ettiler. Bilim insanı olmamalarına karşın Doğanın iç işleyişine samimi bir hayranlık duyan ve sorular sorup yanıtlar üzerine kafa yoran herkese teşekkür etmek isterim. Zamanın doğası üzerine düşünmek daha iyi televizyonlar imal etmemize ya da egzersiz yapmadan kilo vermemize yardımcı olmaz, ama hepimiz aynı evreni paylaşıyoruz ve onu anlama dürtüsü bizi insan yapan şeyin bir parçası.

GİRİŞ

Saatin gerçekten kaç olduğunu bilen var mı?
-Chicago, "Does Anybody Really Know What Time It Is?"

Bu kitap zamanın doğası, evrenin başlangıcı ve bunların altında yatan fiziksel gerçekliğin yapısı üzerinedir. Burada küçük düşünmüyoruz. Giriştiklerimiz, kadim ve saygıdeğer sorulardır: zaman ve mekân nereden çıktı? Bütün olan biten gördüğümüz evren mi, yoksa gözlemleyebildiğimizin ötesinde başka "evrenler" var mı? Geleceğin geçmişten farkı nedir?

Oxford English Dictionary'deki araştırmacılara göre, *time* (zaman) İngilizcede en çok kullanılan isimdir. Zamanda yaşıyoruz, takıntılı bir şekilde kaydını tutuyoruz ve her gün ona karşı yarışıyoruz; ama şaşırtıcı olan, pek az kimsenin zamanın aslında *ne olduğu* sorusuna basit bir yanıt verebilecek olmasıdır.

İnternet çağında, yanıt için Wikipedia'ya bakabiliriz. Bu satırlar yazıldığı sırada, "Zaman" başlığı şöyle başlıyordu:

> Zaman, olayları sıralamak, olayların ne kadar sürdüğünü ve aralarındaki aralıkları karşılaştırmak ve nesnelerin hareketlerini nicelemek için kullanılan bir ölçüm sistemleri unsurudur. Zaman; din, felsefe ve bilimin ana konularından biridir, ancak zamanın tartışmalardan arınmış bir şekilde her türlü araştırma alanına uyan bir tanımını yapmak en büyük araştırmacıların bile hep başarısız oldukları bir uğraş olmuştur.[1]

Eh, hadi başlıyoruz. Bu kitabın sonunda, *zamanı* çok kesin bir şekilde ve bütün alanlara uygulanabilecek gibi tanımlamış olacağız. Ne yazık ki, zamanın *neden* bu özelliklere sahip olduğu o kadar berrak olmayacak; ama bazı fikirleri inceleyeceğiz.

Kozmoloji [Evrenbilim], yani evrenin tümünün incelenmesi geçtiğimiz yüz yılda çok mesafe katetti. On dört milyar yıl önce,

[1] Wikipedia katılımcıları (2009).

evrenimiz (ya da en azından bizim gözlemleyebildiğimiz bölümü) "Büyük Patlama" olarak adlandırdığımız, tasavvur edilemeyecek kadar sıcak, yoğun bir durumdaydı. O zamandan beri, genişleyip soğuyor ve görüldüğü kadarıyla öngörülebilir gelecekte, muhtemelen de ebediyen böyle devam edecek.

Yüz yıl önce, bunların hiçbirini bilmiyorduk; bilim insanları, Samanyolu galaksisinin ötesindeki evrenin yapısı hakkında temelde hiçbir şey bilmiyordu. Şimdi gözlemlenebilir evrenin ölçüsünü aldık ve ayrıntılı bir şekilde boyutlarını ve biçimini, bunun yanında da bileşenlerini ve tarihinin ana hatlarını betimleyebiliyoruz. Ama yanıtlayamayacağımız önemli sorular var, özellikle de Büyük Patlamanın ilk anları üzerine. Göreceğimiz gibi, bu sorular zamanı anlamamızda can alıcı bir rol oynuyor; yalnızca kozmosun ücra köşelerinde değil, Yerküredeki* laboratuvarlarımızda hatta gündelik yaşamlarımızda da.

BÜYÜK PATLAMADAN BU YANA ZAMAN

Zaman geçtikçe evrenin evrildiği açıktır – erken dönem evren sıcak ve yoğundu; halihazırdaki evren soğuk ve seyrektir. Ama ben çok daha derin bağlantılar göstereceğim. Zaman hakkındaki en esrarengiz şey, bir yönü olmasıdır: geçmiş gelecekten farklıdır. Bu *zaman okudur* – her yeri neredeyse eşit biçimde yaratılmış olan uzaydaki yönlerin aksine, evrenin zamanda tartışılmaz biçimde tercih edilmiş bir yönelimi vardır. Bu kitabın ana temalarından biri, zaman okunun evrenin belli bir şekilde evrilmesi nedeniyle var olmasıdır.

Zamanın bir yönünün olmasının nedeni, evrenin tersinmez (geri çevrilemez) süreçlerle dolu olmasıdır – zamanın bir yönünde gerçekleşip, diğer yönünde kesinlikle gerçekleşmeyen şeyler. Klasik örnekte söylendiği gibi, bir yumurtayı omlet yapabilirsiniz, ama omleti yumurta yapamazsınız. Süt kahvenin içine yayılır; yakıtlar yanıp egzos oluşturur; insanlar doğar, yaşlanır ve ölürler. Doğanın her yerinde hep bir tür olayın önce, başka bir türünün de sonra olduğu olay silsileleri görürüz; birlikte, bunlar zaman okunu tanımlarlar.

Dikkat çekecek biçimde, tersinmez süreçler anlayışımızın altında tek bir kavram yatar: *entropi* adını verdiğimiz, bir nesne ya

* Kitap boyunca, "Yerküre" veya "Yeryüzü" sözcüğü üzerinde yaşadığımız gezegeni, "Dünya" ise içinde yaşadığımız alemi göstermek için kullanılmıştır –çn.

da nesneler kümesinin "düzensizliğini" ölçen bir şey. Entropinin, zaman geçtikçe artmak ya da en azından sabit kalmak doğrultusunda inatçı bir eğilimi vardır – bu ünlü Termodinamiğin İkinci Yasasıdır.[2] Entropinin artmak istemesinin nedeni de aldatıcı şekilde basittir: düzensizliğin yolları düzenliliğin yollarından çok daha fazladır, bu yüzden (başka koşulların eşit olması durumunda) düzenli bir dizilim doğal olarak artan ölçüde düzensiz olmaya eğilimlidir. Yumurta moleküllerini çırpıp omlet biçimine sokmak o kadar da zor olmaz, ama hassas bir şekilde onları bir yumurta dizilimine geri götürmek becerimizin ötesindedir.

Fizikçilerin kendi kendilerine anlattıkları geleneksel öykü normal olarak burada sona erer. Ama yeterli dikkat harcanmamış mutlak can alıcılıkta bir bileşen daha vardır: evrendeki her şey giderek artan düzensizliğe doğru evriliyorsa, hassas bir düzene sahip bir dizilimle başlamış olması gerekir. Bir omleti yumurtaya dönüştüremeyeceğinizi açıklamayı amaçlayan tüm bu mantık zinciri, görünüşte evrenin en başlangıcı üzerine derin bir varsayıma dayanır: çok düşük bir entropi ve çok yüksek bir düzen durumundaydı.

Zaman oku, erken dönem evreni, yaşamımızın gerçekten her anında deneyimlediğimiz bir şeyle ilişkilendirir. Bu yalnızca yumurta kırmak, kahveye süt eklemek ya da gözetilmeyen bir odanın zaman içinde daha dağınık bir duruma geleceği gibi süreçlerden oluşmaz. Zaman oku zamanın çevremizden akar gibi gözükmesinin ya da (eğer öyle derseniz) bizim zaman içinde akar gibi gözükmemizin nedenidir. Geçmişi anımsayıp geleceği anımsamamamızın nedenidir. Evrilip, metabolize olup, sonunda da ölmemizin nedenidir. Neden ve sonuca inanmamızın nedenidir ve özgür irade mefhumumuz için de can alıcı önemdedir.

Ve hepsi de Büyük Patlama yüzündendir.

HER ŞEY GÖRDÜKLERİMİZDEN İBARET DEĞİLDİR

Zaman okunun esrarı şuna indirgenebilir: Neden evrenin başlangıcındaki koşullar çok tikel bir şekilde, bütün ilginç ve tersinmez süreçlerin gerçekleşebilecekleri bir kurulumda düzenlenmiştir?

---

[2] Burada yönlere vurguda bulunalım, çünkü kolayca karıştırılabilirler: Entropi düzeni değil düzensizliği ölçer ve zamanla azalmaz, artar. Formal olmayan şekilde düşündüğümüzde sözgelimi "işler yavaşlıyor ya da azalıyor" deriz, ama aslında doğrusu "entropi yükseliyor" olmalıdır.

Bu kitap işte bu soruya karşılık vermek için yazılmıştır. Ne yazık ki, henüz hiç kimse doğru yanıtı bilmiyor. Ama modern bilimin gelişiminde, bu soruyu ciddi bir şekilde ele alacak araçlara sahip olduğumuz bir aşamaya geldik.

Bilim insanları ve bilim öncesi düşünürler hep zamanı anlamak istemiştir. Antik Yunanistan'da, Sokrates öncesi filozoflar olan Herakleitos ve Parmenides zamanın doğası konusunda farklı duruşlar edinmişlerdir: Herakleitos değişmenin önceliğini vurgulamış, Parmenides ise değişme gerçeğini toptan reddetmiştir. On dokuzuncu yüzyıl istatistiksel mekaniğin destansı çağıdır –makroskobik nesnelerin davranışlarını mikroskobik bileşenlerinden türetmek– ve Ludwig Boltzmann, James Clerk Maxwell ve Josiah Willard Gibb entropinin anlamı ve tersinmez süreçlerdeki rolü üzerine çalışmışlardır. Ama Einstein'ın genel göreliliğini ya da kuantum mekaniğini bilmiyorlardı, modern kozmolojiden de haberleri yoktu. Bilim tarihinde ilk kez, evrenin evrimi ve zamanın anlamlı bir kuramını oluşturma şansımız nihayet var.

Şu çıkış yolunu önereceğim: Büyük Patlama evrenin başlangıcı *değildi*. Kozmologlar bazen Büyük Patlamanın, uzay ve zaman için, öncesinde hiçbir şey bulunmayan bir sınır oluşturduğunu söylerler – gerçekten de zaman yoktu, bu yüzden de "öncesi" kavramı tam olarak uygulanamaz. Ama nihai fizik yasaları üzerine, böylesi bir ifadeyi güvenle kullanacak kadar çok şey bilmiyoruz. Bilim insanları giderek Büyük Patlamanın gerçek bir başlangıç olmaması olasılığını daha ciddiye almaya başlıyorlar – bu yalnızca evrenin ya da en azından evrenin bizim bulunduğumuz kısmının geçtiği evrelerden biridir. Bu doğruysa, düşük entropili başlangıcımız sorusu başka bir şekil alır: "Evren neden böyle düşük bir entropiyle başladı?" değil, doğrusu, "Evrenin bizim bulunduğumuz bölümü neden böyle düşük bir entropi döneminden geçti?"

Bu daha kolay bir soru gibi görünmeyebilir, ama bu farklı bir sorudur ve önümüze yeni bir olası yanıtlar kümesi açar. Belki de görebildiğimiz evren, çok daha büyük ve hiç de düşük entropi kurulumunda başlamamış olan bir çoklu evrenin yalnızca bir parçasıdır. Çoklu evren için en mantıklı olanın, entropinin her zaman *yükselebileceği* için –çünkü azami entropi durumu diye bir şey yoktur– entropinin yükseldiği bir model olduğunu öne süreceğim. Ek bir ödül olarak, çoklu evren zamanda tamamen simetrik olabilir: ortalarda, entropinin yüksek olduğu bir andan, geçmişte

ve gelecekte entropinin daha da yüksek olduğu durumlara doğru evrilir. Görebildiğimiz evren muazzam geniş bir bütünün minik bir kıymığıdır ve bizim Büyük Patlamadan ebedi bir boşluğa olan yolculuğumuz daha geniş çoklu evrenin entropisini yükseltme çabasının yalnızca bir parçasıdır.

Hiç olmazsa, bu olasılıklardan biridir. Bunu kozmologların, zaman okunun ortaya koyduğu sorunları ciddiye almak istiyorlarsa, üzerine düşünmeleri gereken senaryo çeşitlerine bir örnek olarak ortaya atıyorum. Ana özellikle bu fikrin doğru yolda olup olmamasından bağımsız olarak, bizatihi sorunlar büyüleyici ve gerçektir. Bu kitabın büyük bölümünde, zaman sorunlarını çeşitli açılardan –zaman yolculuğu, bilişim, kuantum mekaniği, ebediyetin doğası– inceleyeceğiz. Nihai yanıttan emin olmadığımızda bize yakışan, olabildiğince fazla açıdan soruyu sormaktır.

KUŞKUCULAR HEP OLACAK

Zaman okunu anlamamızda kozmolojinin önde gelen bir rol oynayacağı konusunda herkes aynı kanıda değildir. Bir zamanlar önemli bir fizik bölümünde geniş bir katılımcı grubuna bu konuda bir konuşma yaptım. En yaşlı profesörlerden biri konuşmamı çok da inandırıcı bulmadı ve salondaki herkesin hoşnutsuzluğundan haberdar olmasını sağladı. Ertesi gün bölüm öğretim üyelerine bir e-posta gönderdi ve bana da gönderme inceliğini gösterdi:

> Nihayetinde, evrenin entropisinin zamanın bir fonksiyonu olarak büyüklüğü kozmoloji için çok ilginç bir sorudur, ama bir fizik yasasının buna bağlı olduğunu önermek düpedüz saçmalıktır. Carroll'ın İkinci Yasanın varlığını kozmolojiye borçlu olduğu yolundaki ifadesi, ...'in daha önceki, kuantum mekaniğindeki bilinç üzerine önermeleri bir yana konulursa, fizik konferanslarımızın herhangi birinde duyduğum en aptalca önermelerden biridir. Dinleyiciler arasındaki fizikçilerin böylesi saçmalıkları hep kibarca dinliyor olmaları beni şaşırtıyor. Sonrasında, bir akşam yemeği sırasında, kimi lisansüstü öğrencileri itirazlarımı kolaylıkla anladılar, ama Carroll duruşunu değiştirmedi.

Bu kitabı okuyacağını umarım. Burada dramatik görünen birçok ifade yer alır, ama üç farklı tür arasında olabildiğince dikkatli olmaya çalışacağım: (1) modern fiziğin, şaşırtıcı görünen ama yine de evrensel olarak doğru kabul edilen önemli özellikleri; (2) etkin

fizikçiler tarafından mutlaka kabul görmüş olmayan, ama doğrulukları konusunda bir tartışma olmadığı için kabul edilmeleri gereken radikal iddialar ve (3) güncel bilimin duruşunun genel alanının dışında spekülatif fikirler. Kuşkusuz spekülasyondan çekinmeyeceğiz, ama her zaman açıkça belirtilmeleri gerekir. Her şey söylenip bittiğinde, kendi başınıza öykünün hangi bölümlerinin mantıklı olduğuna karar verebilecek altyapıya sahip olacaksınız.

Zaman konusu, gündelik olanlardan, akıllara durgunluk verenlere kadar değişen çok sayıda fikir barındırır. Termodinamiğe, kuantum mekaniğine, özel ve genel göreliliğe, bilişim kuramına, kozmolojiye, parçacık fiziğine ve kuantum kütleçekime bakacağız. Bu kitabın Birinci Kısmı alanda yıldırım hızıyla bir gezinti olarak düşünülebilir – entropi ve zaman oku, evrenin evrimi ve bizatihi "zaman" fikri üzerine farklı düşünceler. Sonrasında biraz daha sistemli olacağız; İkinci Kısımda uzay-zaman ve görelilik üzerine, zamanda geriye doğru yolculuk da dahil olmak üzere, derinlemesine düşüneceğiz. Üçüncü Kısımda entropi üzerine derinlemesine düşüneceğiz ve yaşamın evriminden kuantum mekaniğinin esrarlarına, çoklu bağlamlardaki rolünü araştıracağız.

Dördüncü Kısımda, entropinin modern kozmoloğa sunduğu sırları karşılamak için hepsini bir araya getireceğiz: evrenin nasıl olması gerekirdi ve bu fiilen göründüğü durumuyla nasıl karşılaştırılabilir? Bunun ne anlama geldiği konusunda çok dikkatli olarak, evrenin hiç de olması "gerektiği" gibi gözükmediğini öne süreceğim – en azından, evren gördüklerimizden ibaretse. Evrenimiz Büyük Patlamayla başladıysa, iyi bir açıklamasını yapamadığımız, ince ayarlanmış sınır koşullarının yükünü taşıyor demektir. Ama gözlemlediğimiz evren daha büyük bir bütünün –çoklu evrenin– parçasıysa, o zaman bu bütünün minik bir parçasının, zamanın bir başından diğerine böyle dramatik bir değişmeye nasıl tanıklık ettiğini açıklayabiliriz.

Tüm bunlar dayanaksız bir şekilde spekülatiftir, ama ciddiye alınmaya değer güçtedir. Söz konusu olanlar büyüktür –zaman, uzay, evren– ve yol boyunca yapabileceğimiz hatalar da kuşkusuz aynı ölçüde büyük olacaktır. Bazen hayal gücümüzü serbest bırakmak yararlı olur, nihai hedefimiz Yerküreye geri dönüp mutfakta neler olduğunu açıklamak olsa bile.

BİRİNCİ KISIM

ZAMAN, DENEYİM VE EVREN

1
GEÇMİŞ, ŞİMDİKİ ANIDIR

Zaman nedir? Kimse sormazsa, bilirim. Soran birisine açıklamak istersem, bilmem.

–Aziz Augustinus, *İtiraflar*

Bir dahaki sefere bir barda veya uçakta bulunduğunuzda ya da bir devlet dairesinde sıra beklerken, etrafınızdaki yabancılara *zaman* sözcüğünü nasıl tanımladıklarını sorarak zaman geçirebilirsiniz. Ben de bu kitap için araştırmalar yaparken bununla başladım. Muhtemelen ilginç yanıtlar alacaksınız: "Zaman bizi yaşam boyu sürükleyen şeydir," "Zaman geçmişi gelecekten ayıran şeydir," "Zaman evrenin bir parçasıdır" ve bu minvalde bir şeyler. En beğendiğim şuydu: "Zaman, şeylerin olageldiğini nasıl anladığımızdır."

Tüm bu kavramlar gerçeğin bir parçasını yakalar. "Zamanın" anlamını sözcüklere dökmek için çabalarız, ama Aziz Augustinus gibi, gündelik yaşamımızda zamanla fazlasıyla etkili bir şekilde başa çıkabiliriz. İnsanlar çoğunlukla bir saati nasıl okuyacağını, işe ne kadar sürede gideceğini ya da bir kahveyi ne kadar sürede hazırlayabileceğini ya da arkadaşlarıyla aşağı-yukarı belli bir saatte buluşmayı nasıl becereceğini bilir. "Zaman" derken tam olarak neyi kastettiğimizi ifade etmekte zorluk çeksek bile temel işleyişi sezgisel olarak anlam taşır.

Müstehcenlikle karşılaşan bir Yüksek Mahkeme yargıcı gibi, biz de görür görmez zamanı tanırız ve çoğu uygulama için bu yeterlidir. Ama zamanın kimi veçheleri hayli esrarlı olmayı sürdürür. Sözcüğün ne anlama geldiğini gerçekten biliyor muyuz?

ZAMAN DERKEN NE KASTEDİYORUZ?

Dünya bize daha sonra anlamak ve diğer kavramlarla uzlaştırmak için çaba sarf edeceğimiz, şık paketler içinde soyut kavram-

lar sunmaz. Doğrusu, dünya bize olaylar, gözlemlediğimiz ve not aldığımız şeyler sunar ve biz de sonrasında bu olayların deneyimimizin geri kalanıyla nasıl ilişkilendiğini anlayabilmek için kavramlar türetiriz. Entropi gibi ince kavramlar için, bu hayli açıktır. Yolda yürürken birdenbire entropiyle karşılaşmazsınız; doğadaki değişik olayları gözlemlemeniz ve "entropi" olarak adlandırdığınız yeni bir kavram açısından en uygun şekilde düşünülebilecek bir model ayırt etmeniz gerekir. Bu yararlı yeni kavramla donanımlı olarak, daha başka olayları gözlemler ve entropinin gerçekte ne olduğu konusundaki ilk mefhumunuzu inceltip geliştirmeye yönelirsiniz.

"Zaman" gibi ilkel ve vazgeçilmez bir fikir söz konusu olduğunda, kavramın bize evren tarafından sunulmayıp bizim onu icat ettiğimiz olgusu o kadar da bariz değildir – zaman, onsuz nasıl yaşayacağımızı gerçekten de bilmediğimiz bir şeydir. Yine de bilimin (ve felsefenin) görevinin bir bölümü, "zaman" gibi temel bir kavram üzerine sezgisel mefhumumuzu alıp bunu somut bir şeye dönüştürmektir. Yol boyunca fark ettiğimiz de bu sözcüğü tek bir belirsizliğe yer vermeyen tarzda kullanmadığımızdır; birkaç farklı anlamı vardır ve her birinin de dikkatlice açıklığa kavuşturulması gerekir.

Zaman, her biri bizim için önemli olacak üç farklı veçheye sahiptir:

1. **Zaman evrendeki anları işaretler.**
   Zaman koordinattır; şeylerin yerini belirlememizi sağlar.
2. **Zaman olaylar arasında geçen süreyi ölçer.**
   Zaman saatin ölçtüğü şeydir.
3. **Zaman içinde hareket ettiğimiz ortamdır.**
   Zaman değişmenin failidir. Onun içinde hareket ederiz ya da –aynı şekilde– zaman, geçmişten, şimdiyi aşarak, geleceğe doğru bizden geçer.

İlk bakışta bunlar hayli benzer görünür. Zaman anları işaretler, süre ölçer ve geçmişten geleceğe doğru yol alır; doğru, bunların hiçbirinde çelişkili bir şey yok. Ama daha derinlere doğru eşelediğimizde, bu fikirlerin nasıl da illaki birbirleriyle ilişkili olmasının *gerekmediğini* göreceğiz – halihazırdaki dünyamızda iç

içe geçmiş, mantıken bağımsız kavramları temsil ederler. Neden böyledir? Yanıt, bilim insanlarının düşünmeye eğilimli olduklarından çok daha önemlidir.

1. Zaman evrendeki anları işaretler

Kara delik terimini bulan etkili bir Amerikalı fizikçi olan John Archibald Wheeler'a bir seferinde "zaman"ı nasıl tanımlayacağı sorulmuştu. Bir süre düşündükten sonra, şu yanıtı verdi: "Zaman, her şeyin aynı anda olmasını engellemek için doğanın kullandığı araçtır."

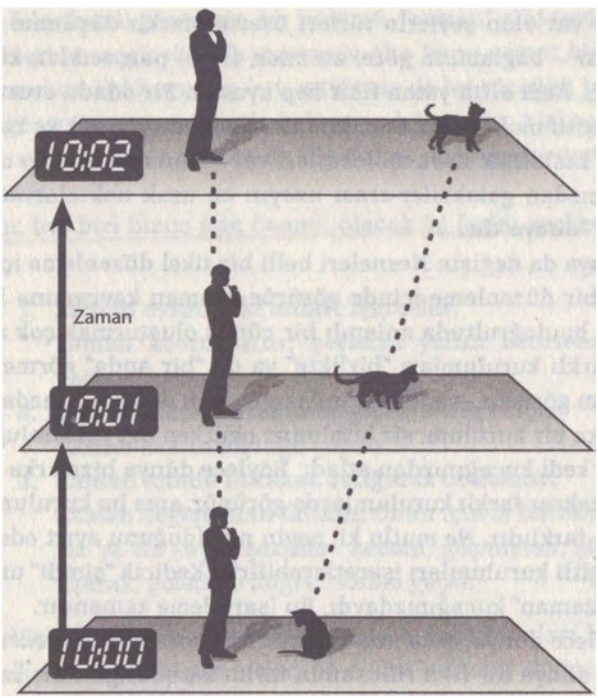
Bunda çok doğruluk payı var, bilgelik de az değil. Normalde dünya üzerine, bilim insanı ya da filozof değil de zamandan geçen insanlar olarak düşündüğümüzde, "dünya"yı çeşitli *yerlerde* konumlanan bir *şeyler* toplamı olarak görürüz. Fizikçiler tüm bu yerleri birleştirir ve tüm bu bütüne "uzay" adını verir, onların uzayda var olan şeylerin türleri üzerine farklı düşünme şekilleri vardır – bağlamına göre, atomlar, temel parçacıklar, kuantum alanları. Ama altta yatan fikir hep aynıdır. Bir odada oturuyorsunuz, çeşitli mobilyalar, bazı kitaplar, belki de yiyecek ve başka insanlar, kesinlikle hava molekülleri var – tüm bu şeylerin toplamı, yakınınızdan galaksiler-arası uzayın en uzak noktalarına kadar her yer "dünya"dır.

Dünya da değişir. Nesneleri belli bir tikel düzenleme içinde ve başka bir düzenleme içinde görürüz. (Zaman kavramına başvurmadan bu doğrultuda anlamlı bir cümle oluşturmak çok zordur.) Ama farklı kurulumları "birlikte" ya da "bir anda" görmeyiz. Bir kurulum görürüz –şimdi divandasınız, kedi de kucağınızda– sonra da başka bir kurulum: siz kitabınızı okurken ilgi yoksunluğundan sıkılan kedi kucağınızdan atladı. Böylece dünya bize arka arkaya, tekrar tekrar farklı kurulumlarda görünür, ama bu kurulumlar bir şekilde farklıdır. Ne mutlu ki, neyin ne olduğunu ayırt edebilmek için çeşitli kurulumları işaretleyebiliriz: Kedicik "şimdi" uzaklaşıyor; "o zaman" kucağınızdaydı. Bu işaretleme zamandır.

Böylece dünya, arka arkaya var olur ve üstelik *olagelir*. Bu anlamda, dünya bir film rulosunun farklı kareleri gibidir; kamerası tüm evreni gören bir film. (Aynı zamanda, bildiğimiz kadarıyla, çok küçük aralıklarla ayrılan sonsuz sayıda kare vardır.) Ama kuşkusuz, bir film farklı kareler yığınından çok daha fazlasıdır. Bu

karelerin doğru sırada olmaları gerekir ve bu da filmin anlamlı olabilmesi için can alıcı bir öneme sahiptir. Zaman da aynı şekildedir. "Şu oldu," "bu da oldu," ve "bu diğeri de oldu"dan çok daha fazlasını söyleyebiliriz. Şunun bundan önce olduğunu, diğerinin de daha sonra olacağını söyleyebiliriz. Zaman yalnızca dünyanın her anının işareti değildir; aynı zamanda farklı anları sıraya sokan bir sıralama da sağlar.

Gerçek bir film, şüphesiz ki görüş alanında bütün evreni içermez. Bu nedenle, film kurgusu normalde "kesikler" içerir: bir kamera açısından diğerine ani atlamalar. İki kare arasındaki her geçişin tamamen farklı sahnelerin kesikleri olduğu bir film tasavvur edin. Bir projektörle gösterildiğinde, anlaşılmaz olacaktır – ekranda rastgele parazit gibi görünecektir. Herhalde bir avangard Fransız filminde bu teknik kullanılmıştır bile.



Şekil 1: Dünya, farklı zaman anları olarak düzenlenmiş. Nesneler (insanlar ve kediler de dahil olmak üzere) bir andan diğerine devam ederler ve zaman içinde uzanan zaman çizgileri tanımlarlar.

Gerçek dünya avangard bir film değildir. Zaman içinde bir dereceye kadar devamlılık deneyimleriz – kedi şimdi kucağınızdaysa, sinirlenip gitme tehlikesi vardır, ama bir an sonra yokluğa karışması konusunda endişelenmek gereksizdir. Bu devamlılık mikroskobik düzeyde mutlak değildir; parçacıklar ortaya çıkıp kaybolabilirler ya da en azından doğru koşullarda farklı türden parçacıklara dönüşebilirler. Ama bir andan diğerine toptan bir yeniden düzenleme olmaz.

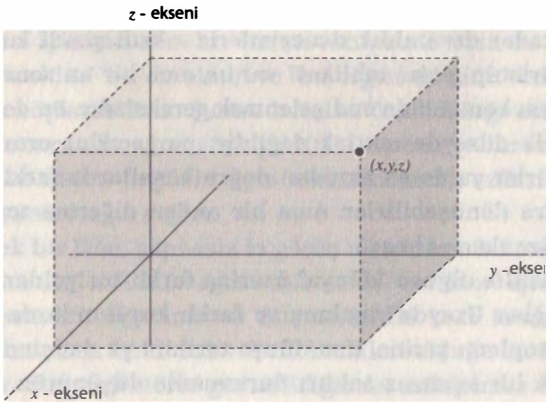
Bu tutarlılık olgusu "dünya" üzerine farklı bir yoldan düşünmemizi sağlar. Uzayda yayılmış ve farklı kurulumlarda değişen bir şeyler toplamı yerine, tüm dünya tarihini ya da içindeki belli bir şeyi tek bir amansız saldırı durumunda düşünürüz. Kediciği belli bir hücreler ve sıvılar düzenlemesi olarak düşünmek yerine, doğumdan ölüme zaman içinde yayılan tüm yaşamını düşünürüz. Bir nesnenin (kedi, gezegen, elektron) zaman içindeki tarihi, onun *zaman çizgisini* tanımlar – zaman geçerken nesnenin uzaydaki güzergâhı.[1] Bir nesnenin zaman çizgisi, tam olarak nesnenin dünyada işgal ettiği, her konumda bulunduğu zamanın işaretlendiği eksiksiz konumlar kümesidir.

Kendimizi bulmak

Evreni sürekli hareket eden bir şeyler kümesi olarak düşünmek yerine, onun tüm tarihini bir seferde düşünmek, zamanı "bir şekilde uzay gibi" düşünme yolunda ilk adımdır ki, bunu gelecek bölümlerde daha derinlemesine ele alacağız. Zaman ve uzayı evrende olagelen şeyleri tespit etmemize yardımcı olmak üzere kullanırız. Birisiyle kahve içmek için buluşmak, bir filmin belli bir seansını izlemek ya da herkesle birlikte işe gitmek istediğinizde, bir zaman belirlemeniz gerekir: "Bu perşembe saat altıda kafede buluşalım."

---

[1] Çok soyuta kaçmama çabası içinde, ara sıra zamanın yönlülüğünü kabul eden bir dil kullanacağız – "zaman geçer," "geleceğe doğru hareket ederiz" gibi şeyler. Doğrusunu söylemek gerekirse, işimiz "şimdi de var, gelecek de var," gibi yapmacık görünen türde cümleler kurmanın aksine, bu dilin neden bu kadar doğal göründüğünü açıklamak. Ama ara sıra "zaman kipli" konuşma tarzına düşmek ve ardında yatan varsayımları daha sonra sorgulamak, daha az stresli olur.



Şekil 2: Uzaydaki her noktaya bağlı koordinatlar.

Birisiyle buluşmak istediğinizde, şüphesiz ki yalnızca bir zaman belirlemek yeterli olmaz, bir yer de belirlemeniz gerekir. (Hangi kafeden söz ediyoruz?) Fizikçiler uzayın "üç boyutlu" olduğunu söyler. Bunun anlamı, belli bir noktayı bulmak için üç sayıya gerek duyuyor olduğumuzdur. Eğer nokta Yerküreye yakınsa, bir fizikçi size enlem, boylam ve yerden yüksekliğini verebilir. Eğer burası astronomik açıdan uzak bir yerdeyse, size gökyüzündeki yönünü (enlem ve boylam gibi iki sayı), artı Yerküreden uzaklığını verebiliriz. Bu üç sayıyı nasıl seçtiğimiz önemli değildir; can alıcı nokta, her seferinde tam olarak üç sayıya gerek duyuyor olmanızdır. Bu üç sayı o noktanın uzaydaki *koordinatlarıdır*. Her noktaya iliştirilmiş, bize o noktanın koordinatlarının ne olduğunu kesinlikle söyleyen küçük bir etiket olduğunu düşünebiliriz.

Gündelik yaşamda uzaydaki üç koordinatın belirtilmesi gereğini kısa kesebiliriz. Eğer "Ana Cadde ile Sekizinci Caddenin köşesindeki kafe" derseniz, örtülü olarak iki koordinat verirsiniz –"Sekizinci" ve "Ana Cadde"– ve hepimizin, kafenin havada ya da yeraltında değil de yer seviyesinde olduğunu kabul ettiğini varsayarsınız. Bu, gündelik yaşantımızdaki konumların fiilen iki boyutlu olduğu ve yer seviyesine yakın olduğu yerlerle kısıtlı olduğu olgusunun bize sağladığı bir kolaylıktır. Ama ilkesel olarak, uzaydaki bir noktayı belirlemek için üç koordinatın hepsi de gereklidir.

Uzaydaki her nokta, zamandaki her anda bir kez gerçekleşir. Zamandaki belirli bir anda uzaydaki belli bir noktayı tarif edersek, fizikçiler bunu *olay* olarak adlandırır. (Bu, olayın özellikle heyecan verici olduğu anlamına gelmez; boş uzayda, herhangi bir andaki herhangi bir rastgele nokta, eşsiz olarak belirtilmiş olması koşuluyla, yeterlidir.) "Evren" olarak adlandırdığımız, bütün olayların –zamanın herhangi bir anında uzaydaki her bir nokta– kümesidir. Bu durumda, eşsiz bir olayı belirleyebilmemiz için dört sayıya gerek vardır – uzayda üç, zamanda bir koordinat. Bu yüzden evrenin dört boyutlu olduğunu söyleriz. Bu o kadar yararlı bir kavramdır ki, sık sık tüm bütünü, zamandaki her anda uzaydaki her noktayı *uzay-zaman* olarak adlandırılan tek bir varlık olarak ele alacağız.

Bu büyük bir kavramsal adımdır, bu yüzden bunu hazmetmek için duraklamaya değer. Dünyayı sürekli değişen ("her seferinde biraz farklı bir şekilde ardı ardına olagelen") üç boyutlu bir öbek olarak düşünmek doğaldır. Şimdi bunların hepsini birden, dünyanın tüm tarihini ek boyutun zaman olduğu dört boyutlu tek bir şey olarak düşünebileceğimizi öne sürüyoruz. Bu anlamda, zaman dört boyutlu evreni zamanın her anındaki uzayın kopyaları olarak dilimlemeye yarar – 20 Ocak 2010, saat sabah 10:00'da bütün evren; 20 Ocak 2010 saat sabah 10:01'de bütün evren vb sonsuz sayıda böyle dilim vardır; hepsi birden evreni oluşturur.

2. Zaman olaylar arasında geçen süreyi ölçer

Zamanın ikinci veçhesi, olaylar arasında geçen süreyi ölçmesidir. Bu evvelce ele alınmış olan "evrendeki anları işaretler" veçhesiyle hayli benzer görünür, ama arada bir fark vardır. Zaman yalnızca farklı anları işaretleyip sıralamakla kalmaz; aynı zamanda aralarındaki mesafeyi de ölçer.

Filozof ya da bilim insanı cüppesini giyip ince bir kavramın anlamını çözmeye çalışırken, şeylere işlevsel olarak bakmak yararlıdır – bu fikri deneyimimizde fiilen nasıl kullanırız? Zamanı kullanırken, elde ettiğimiz ölçümlere saate bakarak atıfta bulunuruz. Bir saat süreceği varsayılan bir TV programını seyrediyorsanız, programın sonunda saatte okuduğunuz, programın başladığında okuduğunuzdan bir saat sonrası olacaktır. Bu programın yayını sırasında bir saat geçtiğini söylemek bu *anlama* gelir: bittiğinde, saatiniz başlamasına göre bir saat ilerisini gösterecektir.

Ama, iyi bir saati oluşturan nedir? Birincil kıstas, tutarlı olmasıdır – bazen çok hızlı gidip bazen de yavaşlayan bir saatin yararı olmaz. Neye göre yavaş ya da hızlı? Yanıt şudur: diğer saatlere göre. Deneysel bir olgu (mantıksal bir gereklilik değil) olarak, evrende tutarlı şekilde döngüsel bazı nesneler vardır – ardı ardına aynı şeyi yaparlar ve bir başkasının yanına koyduğumuzda da öngörülebilir şekilde kendi kendilerini tekrarladıklarını görürüz.

Güneş Sistemindeki gezegenleri düşünün. Yerküre Güneş çevresinde yörüngededir, yılda bir uzak yıldızlara göreli olarak aynı konuma gelir. Bunun kendi başına bir anlamı yoktur – bu yalnızca "yıl"ın tanımıdır. Ama Mars da her 1,88 yılda bir aynı noktaya gelir. Bu tarz bir ifade çok yararlıdır – "yıl" kavramına başvurmadan, Yerkürenin Güneş çevresinde Mars'ın her 1,88 dönüşünde bir kez döndüğünü söyleyebiliriz.[2] Benzer şekilde, Dünya yörüngesini bir kez katettiğinde, Venüs de Güneş çevresinde 1,63 kez döner.

Zamanı ölçmenin anahtarı, *eşzamanlı* (senkronize) *tekrarlamadır*: geniş bir süreçler yelpazesi arka arkaya olagelir ve bir sürecin, başka bir süreç özgün durumuna dönene kadar kaç kez kendi kendini tekrarladığı, güvenilir bir şekilde öngörülebilir. Yerküre ekseni etrafında döner ve Yerkürenin Güneşin çevresindeki her dönüşünde bu 365,25 kez tekrarlanacaktır. Bir kuvars saatindeki minik kristal, Yerkürenin kendi ekseni etrafındaki her dönüşünde 2.831.155.200 kez titreşir. (Bu saniyede 32.768 titreşim, saatte 3600 saniye ve günde 24 saat eder.[3]) Kuvars saatlerin güvenilir olmasının nedeni, kuvars kristallerinin aşırı güvenilir titreşimlere sahip olmasıdır; sıcaklık ve hava basıncı değişse bile dünyanın her dönüşünde kristal aynı sayıda titreşecektir.

Bu yüzden, bir şeyin iyi bir saat olduğunu söylediğimizde, bunun diğer iyi saatlere görece öngörülebilir bir şekilde kendisini

---

[2] Gezegenler kusursuz daireler değil, elips şeklindeki yörüngeler üzerinde döndükleri için, Güneş çevresindeki hızları tam olarak sabit değildir ve Mars bir tur atana kadar Yerkürenin katettiği açı, yılın hangi döneminde olduğuna bağlıdır. Bunlar, zaman birimlerini dikkatlice tanımlamaya oturduğumuzda kolayca başa çıkılabilecek ayrıntılardır.

[3] Saniyedeki titreşim sayısını belirleyen, kristalin boyu ve şeklidir. Bir saatte, kristal saniyede 32.768 kez titreşecek şekilde ayarlanır, bu da 2'nin 15. kuvvetidir. Bu sayı, saatin iç yapısının, arka arkaya 2'ye bölerek frekansını saniyede tam bir olarak elde etmesi için belirlenmiştir, bu da saatin saniye kolunu hareket ettirmek için uygundur.

tekrarladığını kastederiz. Neyse ki böylesi saatlerin varlığı evrenin olgularından biridir. Özellikle, bütün önemli olanın kuantum mekaniğinin kuralları ve tek tek temel parçacıkların özellikleri (kütle, elektrik yükü) olduğu mikroskobik düzeyde, atomlar ile moleküllerin mutlak bir şekilde güvenilir frekanslarda titreştiğini görürüz, bu da geniş, keyifli bir eşgüdüm içinde ilerleyen mükemmel saatler yelpazesi oluşturur. İyi saatlerin olmadığı –hiçbir sürecin diğer kendi kendini tekrarlayan süreçlere görece kendisini öngörülebilir bir sayıda tekrarlamadığı– bir evren gerçekten de korkutucu bir evren olurdu.[4]

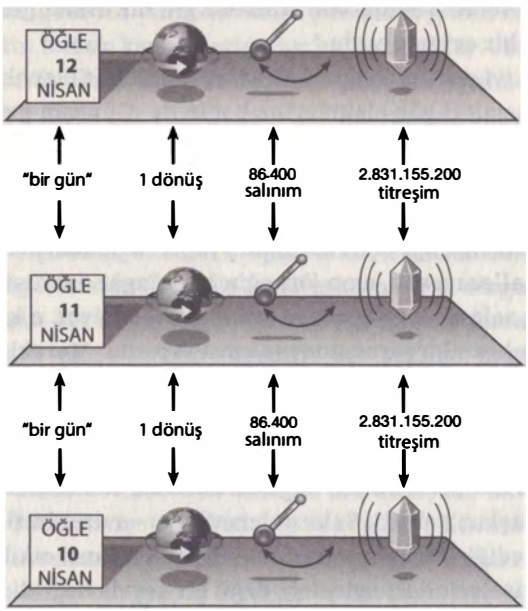
Yine de iyi saatleri sağlamak kolay değildir. Geleneksel zaman ölçme yöntemleri gök cisimlerine bağlıydı –Güneşin ya da yıldızların gökyüzündeki konumları– çünkü burada, Yerkürede işler sorunlu ve öngörülemez olma eğilimindedir. 1581'de, genç Galileo Galilei, rivayete göre Piza'daki bir kilise ayininde sıkıntılı bir şekilde otururken, çığır açıcı bir buluş yaptı. Tepedeki avize yavaşça ileri geri sallanıyordu, ama (örneğin bir rüzgâr esintisinin ardından) geniş salınımlar yaparken daha hızlı ilerliyor, o kadar geniş olmayan salınımlar sırasındaysa yavaşlıyordu. Meraklanan Galileo her salınımın ne kadar sürdüğünü hesaplamaya koyuldu, bu iş için de elinin altındaki neredeyse en hassas tekrarlayan olayı kullandı: kendi nabız atışları. İlginç bir şey fark etti: salınımların geniş ya da dar olmasından bağımsız olarak, salınımlar arasındaki nabız atışları sabitti. Salınımların boyu –avizenin ileri geri ne kadar ilerlediği– bu salınımların sıklığını (frekans) etkilemiyordu. Bu Piza kiliselerindeki avizelere özgü bir şey de değildi; bu sarkaç fizikçilerinin "basit harmonik salınıcı" olarak adlandırdıkları türden güçlü bir özellikti. Büyükbabalarımızın duvar saatlerinin ve diğer zaman ölçme cihazlarının merkezi unsurunun sarkaç olmasının nedeni de budur: salınımları aşırı düzeyde güvenilirdir. Saat imalatı zanaatının özünde, giderek daha güvenilir salınım türleri bulmak vardır, kuvars titreşimlerinden, atomik rezonanslara.

Bizim burada ilgi odağımız aslında saat imalatının inceliklerinde değil, zamanın anlamındadır. Her türden çevrimsel sü-

---

[4] Alan Lightman'ın yaratıcı romanı *Einstein's Dreams* (*Einstein'ın Düşleri*, çev. A. Sezgintüredi, Aylak Kitap, 2016), zamanın gerçek dünyada olduğundan çok daha farklı işlediği bir dünyanın neye benzeyeceği konusunu işleyen bir dizi kısa öykü içerir.

reci içeren bir dünyada yaşıyoruz, bunlar bazı başka çevrimsel süreçlerle karşılaştırıldığında öngörülebilir sayıda tekrar eden süreçlerdir. Biz de süreleri böyle ölçüyoruz: böylesi bir sürecin tekrarlama sayısına göre. TV programımızın bir saat sürdüğünü söylerken, saatimizdeki kuvars kristalinin programın başı ile sonu arasında 117.964.800 kez titreşeceğini söylemek istiyoruz (saniyede 32.768 titreşim, saatte 3600 saniye).



Şekil 3: İyi saatler eşzamanlı tekrarlar gösterir. Her bir gün geçtiğinde, Yerküre ekseni etrafında bir tur atar, **periyodu 1 saniye olan bir sarkaç 86.400 kez salınır ve bir kuvars saat 2.831.155.200 kez titreşir.**

Zamanı tanımlarken titiz olup, kavramı tamamen ortadan kaldırmış olduğumuza dikkat edin. Doğru dürüst bir tanımlamanın yaptığı da budur – bir şeyi kendi kendisine gönderimde bulunarak tanımlamak istemezsiniz. Zamanın geçişi, eşzamanlı olarak olagelen bazı şeylere göre tamamen yeniden belirlenebilir. "Program bir saat sürdü," ifadesi, "programın başı ile sonu arasında, saatimdeki kuvars kristalinin 117.964.800 titreşimi gerçekleşecektir" (aşağı-yukarı, birkaç reklam ilavesiyle) demekle aynı şeydir. Arzu

ederseniz, fiziğin üstyapısını, "zaman" kavramının yerine bazı şeylerin, bazı başka şeylerle çakışma durumunda nasıl olageldiği üzerine ayrıntılı açıklamalar koyarak, onu tamamen saf dışı bırakacak şekilde yeniden icat edebilirsiniz.[5] Ama bunu neden isteyelim ki? Zaman terimleriyle düşünmek pratiktir ve dahası, altta yatan, evrenin çalıştığı gibi, basit bir düzeni yansıtır.

Zamanı yavaşlatmak, durdurmak, bükmek

Zamanın geçişiyle neyi kastettiğimiz üzerine bu iyice keskinleşmiş anlayışla, en azından büyük bir soru yanıtlanabilir: bütün evrende zamanın yavaşlaması durumunda, ne olur? Yanıt şudur: Bu mantıklı bir soru değildir. Neye göre yavaşlamak? Zaman saatlerin ölçtüğü şeyse ve her saat aynı oranda "yavaşlarsa," bunun hiçbir etkisi olmaz. Zamanı ölçmek eşzamanlı tekrarlar üzerinedir ve bir salınımın oranı başka bir salınıma göre aynıysa, her şey yolundadır.

İnsanlar olarak, biz zamanın geçişini *hissederiz*. Bunun nedeni, kendi metabolizmamızda döngüsel süreçlerin olmasıdır – nefes, kalp atışı, elektriksel atımlar, merkezi sinir sisteminin ritmi. Biz karmaşık, kendi aralarında ilişkili bir saatler kümesiyiz. İç ritimlerimiz bir sarkaç ya da kuvars kristali kadar güvenilir değildir; dış koşullar ya da duygusal durumumuzdan etkilenirler ve zamanın daha hızlı ya da daha yavaş geçtiği izlenimine kapılmamıza neden olurlar. Ama bedenlerimizin içinde işleyen gerçekten güvenilir saatler –titreşen moleküller, bireysel kimyasal reaksiyonlar– her zaman olduğundan daha hızlı ya da yavaş hareket etmezler.[6]

Diğer yandan, "iyi saat" olduğunu düşündüğümüz kimi fiziksel süreçler bir şekilde eşzamanlılığı kaybedebilirler – bir saat, diğerlerine kıyasla yavaşlayabilir ya da hızlanabilir. Bu durumda mantıklı bir yanıt, bizatihi zamanı karalamaktansa, kabahati özellikle bu saate yüklemek olacaktır. Ama biraz zorlarsak, belli

---

[5] Örneğin *bkz.* Barbour (1999) veya Rovelli (2008).

[6] Einstein'a atfedilen ünlü bir espri vardır: "adamın biri güzel bir kızın yanında bir saat oturduğunda, bir dakika geçmiş gibi olur. Ama onu bir ocağın üzerinde bir dakika oturtun, bu bir saatten fazla görünür. Görelilik işte budur." Einstein'ın bu sözleri gerçekten söyleyip söylemediğini bilmiyorum. Ama bunun görelilik olmadığını biliyorum.

bir saat grubunun (moleküler titreşimler ve diğer periyodik süreçler de dahil olmak üzere) hepsi birbirleriyle uyum durumunda, ama dünyanın geri kalanından ayrı bir şekilde değiştiklerini tasavvur edebiliriz. O zaman bu grubun içinde zamanın ilerleme hızının gerçekten de değişip değişmediğini sorgularız.

Aşırı bir örneğe bakalım. Nicholas Baker'ın romanı *Fermata*, zamanı durdurma yeteneği olan bir adamın, Arno Strine'ın öyküsünü anlatır. (Bu mucizevi yeteneğini büyük ölçüde ortalıkta dolaşıp kadınların giysilerini çıkartmakta kullanır.) Zamanın her yerde birden durmasının bir anlamı olmaz; önemli olan, etrafındaki her şey durmuşken Arno'nun zamanda hareket etmesidir. Bunun gerçekçi olmadığını biliyoruz, ama bunun fizik yasalarını nasıl çiğnediği üzerine düşünmek eğitici olur. Bu zamanı durdurma yaklaşımının sonucu, Arno'nun bedenindeki her türlü hareket ve ritmin normalde olduğu gibi devam etmesi, ama dış dünyadaki her türlü hareket ve ritmin mutlak bir hareketsizlikle donmasıdır. Kuşkusuz, Arno'nun içindeki tüm hava ve sıvılar için zamanın devam ettiğini kabul etmemiz gerekir, yoksa anında ölmüş olurdu. Ama odanın geri kalanındaki hava gerçekten de zamanı yaşamayı durdurursa, her molekülün kesinlikle yerinde kalması gerekir; dolayısıyla Arno kesinlikle durağan hava moleküllerinin arasında hapsolmuş bir şekilde hareket edemez hale gelecektir. Pekâlâ, cömert davranalım ve Arno'nun tenine yeterince yaklaşan hava moleküllerinin normal hareket ettiğini varsayalım. (Kitap da benzeri bir duruma atıfta bulunur.) Ama bunun dışındaki her şey, varsayım gereği, hiçbir şekilde değişmeyecektir; Arno tamamıyla kör ve sağır olacaktır. Bu bir röntgenci için pek de uygun bir ortam olmaz.[7]

---

[7] Baker'ın fantezisinin bilimsel tutarlılığını toparlamaya kendimizi adarsak, olası bir kaçış senaryosu vardır: belki de dünyanın geri kalanında zaman tamamen durmamıştır da muazzam bir oranda yavaşlamıştır ve ışığın Arno'nun baktığı nesnelerden gözlerine ulaşmasını sağlayacak bir hızla ilerlemektedir. İyi deneme, ama olmadı. Bu olsa bile ışığın yavaşlamış olması, muazzam bir kırmızıya kaymaya neden olacaktır – normal dünyada görünür ışık olarak görünecekler, Arno'ya radyo dalgaları gibi görünecek ve zavallı gözleri bunu fark etmeyecektir. Belki X-ışınları kırmızıya kaymayla görünür dalga boylarına kayar, ama X-ışını cep fenerleri pek de bulunabilir nesneler değildir. (Bu, kabul etmek gerekir ki insanı bu senaryonun daha realist bir sürümünün ne kadar da ilginç olacağını düşünmeye yöneltiyor.)

Tüm fiziksel ve anlatısal engellere karşın, böyle bir şey gerçekleşirse, ne olur? Çevremizdeki zamanı durduramayacak olsak da muhtemelen kimi yerel saatlerin hareketinin hızlanabileceğini tasavvur edebiliriz. Zamanı gerçekten de eşzamanlanmış tekrarlarla ölçüyorsak ve hepsi de dış dünyaya göre daha hızlı hareket eden ama bu sırada kendi aralarında eşzamanlı davranan bir grup saat ayarlarsak, bu grubun içinde "zamanın daha hızlı hareket etmesi" gibi bir durum olmaz mı?

Duruma göre değişir. Gerçek dünyada olabileceklerden hayli uzaklaştık, bu yüzden bazı kurallar koymalıyız. Çok güvenilir saatlerin olduğu bir evrende yaşadığımız için şanslıyız. Böyle saatler olmasa, olaylar arasındaki süreyi ölçmek için zamanı kullanamazdık. *Fermata*'nın dünyasında, Arno Strine'ın dışındaki dünyada zamanın yavaşladığını ya da belki de daha yararlı bir şekilde, dünyanın geri kalanının zamanı değişmezken, onun için zamanın hızlandığını söyleyebiliriz. Ama her koşulda, "zaman"ın hiçbir şekilde etkilenmediğini, değişmiş olanın Arno'nun etki alanındaki parçacık fiziği yasaları (kütleler, farklı parçacıkların yükleri) olduğunu söyleyebiliriz. "Zaman" gibi kavramlar bize dış dünya tarafından belirsizliğe yer vermeyecek biçimde verilmiş olmayıp, evrene anlam vermeye çalışan insanlar tarafından icat edilmiştir. Eğer evren çok farklı olsaydı, buna farklı bir şekilde anlam veriyor olabilirdik.

Bu arada, bir grup saatin zamanı başka bir grupta bulunanlara göre daha farklı ölçmesi için gerçek bir yol var: onları uzayzamanda farklı güzergâhlarda hareket ettirmek. Bu bizim "iyi saatlerin" zamanı aynı şekilde ölçmeleri gerektiği yolundaki iddiamızla tamamen uyum içindedir, çünkü saatleri, uzayda birbirlerine yakın olmadıkları takdirde kolaylıkla karşılaştıramayız. İki farklı güzergâhta geçen toplam zaman, herhangi bir tutarsızlığa neden olmadan farklı olabilir. Ama bu önemli bir şeye neden olur: görelilik kuramına.

Uzay-zamandaki dolambaçlı güzergâhlar

Eşzamanlı tekrarların mucizesi aracılığıyla, zaman yalnızca tarihteki farklı anları düzene sokmakla kalmaz; aynı zamanda bunların (zamanda) birbirlerinden "ne kadar uzak" olduklarını da söyler. "1776, 2010'dan önce gerçekleşti" sözünün ötesine geçebiliriz; "1776, 2010'dan 234 yıl önce gerçekleşti" de diyebiliriz.

"Evreni farklı anlara bölmek" ile "olaylar arasında geçen süreyi ölçmek" arasındaki can alıcı önemde bir ayrıma dikkat çekmeliyim, göreliliğe geldiğimizde muazzam öneme sahip olacak bir ayrımdır bu. Tasavvur edelim ki siz hırslı bir zamansal[8] mühendissiniz ve kol saatinizin kesin zamanı bildirmesiyle yetinmiyorsunuz; uzay-zamandaki diğer tüm olayların zamanının ne olduğunu da bilebilmek istiyorsunuz. Şunu düşünmeye kapılabilirsiniz: (Varsayımsal olarak) Sonsuz sayıda saat inşa ederek ve hepsini aynı zaman ile eşzamanlayıp bütün uzaya dağıtarak, evrenin tümünde var olacak bir zaman koordinatı inşa edemez miyiz? O zaman, uzay-zamanda nereye gidersek gidelim, her noktada kesinlikle hangi zamanda olduğumuzu bize söyleyecek bir saat olacaktır.

Görecek olduğumuz gibi, gerçek dünya mutlak bir evrensel zaman koordinatı inşa etmemize olanak vermez. Uzun süre insanlar bunun olabileceğini düşünmüştür, Sir Isaac Newton gibi bir otorite bile. Newton'ın evren görüşünde, evreni "belli bir zamandaki uzay" dilimlerine bölmek için belli bir doğru yöntem bulunabilirdi. O zaman, en azından bir düşünce alıştırması şeklinde, belli bir olayın gerçekleştiği zamanı eşsiz bir şekilde belirleyecek tarzda bütün evrene saatler gönderebiliriz.

Ama 1905 yılında, devreye Einstein ve özel görelilik kuramı girdi.[9] Özel göreliliğin merkezi kavramsal yeniliği, zaman üzerine sahip olduğumuz iki veçhenin, "zaman farklı anları işaretler" ve "zaman saatlerin ölçtüğüdür" ifadelerinin eşdeğer *olmadığı*, hatta

---

[8] Zamansal (temporal): zamanla ilgili, zamana dair. Bu sık sık kullanacağımız çok güzel bir sözcüktür. Ne yazık ki, farklı bir anlamı da "dünyanın şimdiki yaşamıyla ilgili" yani "zamane"dir – ve bu anlamından çok daha uzaklara sürükleneceğiz.

Tarihsel doğruluk açısından, her ne kadar Einstein özel göreliliğin formülasyonunda merkezi bir rol oynamışsa da doğrusu bunun, aralarında George FitzGerald, Hendrik Lorentz ve Henri Poincaré de bulunan bir dizi fizikçi ve matematikçinin çalışmalarını içeren ortak bir çabanın ürünü olduğunu söylemektir. Einstein'ın nihai kuramını alıp bunun şimdi artık "Minkowski uzayı" olarak adlandırılan dört boyutlu uzay-zaman terimleriyle anlaşılabileceğini gösteren Hertmann Minkowski olmuştur. 1909'daki önemli sözü şöyledir: "karşınızda açmak istediğim zaman ve uzay görüşleri, deneysel fizik topraklarında yetişmiştir ve güçleri de burada yatmaktadır. Radikaldirler. Bundan sonra, yalnız başına uzay ve yalnız başına zaman, solup basit gölgelere dönüşecekler ve yalnızca bu ikisinin bir tür birlikteliği bağımsız bir varlık olmaya devam edecektir" (Minkowski, 1909).

birbirlerinin yerine geçmedikleridir. Özellikle, bütün evrene saatler göndererek bir zaman koordinatı oluşturma fikri *işlemez*: aynı olaydan hareket eden ve aynı olaya varan, ama oraya ulaşmak için farklı güzergâhlar izleyen iki saat, genelde yol boyunca farklı süreler deneyimleyecek ve eşzamanlılıktan uzaklaşacaktır. Bunun nedeni yukarıda tanımlanan "iyi saatler" seçmemiş olmamız değildir. *Uzay-zamanda iki olayı birbirine bağlayan iki güzergâh üzerinde geçen sürenin mutlaka aynı olması gerekmediği* içindir.

"Zaman bir şekilde uzay gibidir," diye düşünmeye başlarsak, bu fikir şaşırtıcı olmaz. Benzer yapıda, ama zaman değil de uzay için kurulmuş bir cümleyi ele alalım: uzayda iki nokta arasında katedilen mesafe, eşit olmak zorunda değildir. Şaşırtıcı gözükmüyor, değil mi? Şüphesiz ki uzaydaki iki noktayı farklı uzunluktaki güzergâhlarla birleştirebiliriz; biri düz, diğeri kavisli olabilir ve her zaman kavisli güzergâhın düz güzergâhtan daha uzun olduğunu görürüz. Ama aynı iki noktanın *koordinatları* arasındaki uzaklık, bir noktadan diğerine nasıl ulaştığımıza bakılmaksızın hep aynıdır. Çünkü bariz olanı belirtmek gerekirse, katettiğiniz uzaklık koordinat farkınızla aynı değildir. Amerikan futbolunda, engelleyiciler arasında sağa sola kaçarak 30 yarda çizgisinden 80 yarda çizgisine ilerleyen bir beki düşünün. (Bu aslında rakiplerin 20 yarda çizgisinden, ama böylesi daha açık olur.) Koştuğu toplam uzaklık ne kadar uzun ya da kısa olursa olsun, koordinat farkı 50 yardadır.



Şekil 4: Bir Amerikan futbolu sahasında, Yarda çizgileri koordinat görevi görür. Topu 30 yarda çizgisinden 80 yarda çizgisine ilerleten bir bek, katettiği yol daha uzun olsa bile koordinatları 50 yarda değiştirmiştir.

Özel göreliliğin merkezi unsuru, *zamanın da böyle olduğunun* idrak edilmesidir. İkinci tanımımız, zamanın saatler tarafından ölçülen süre olması, uzaydaki toplam güzergâhın uzunluğuyla

benzeşir; saatin kendisi de kilometre saati ya da katedilen toplam uzaklığı ölçen başka bir aletle benzeşir. Bu tanım uzay-zamanın farklı dilimlerini işaretleyen bir koordinat kavramıyla (tıpkı bir Amerikan futbolu sahasındaki yarda çizgileri gibi) aynı şey değildir. Ve bu da daha iyi saatler imal ederek ya da uzay-zamanda nasıl yolculuk edeceğimiz konusunda daha iyi tercihlerde bulunarak "halledeceğimiz" teknik bir sorun değildir; bu evrenin işleme tarzının bir özelliğidir ve bununla yaşamayı öğrenmemiz gerekir.

Zamanın birçok açıdan uzayla aynı şekilde çalışıyor olması ne kadar büyüleyici ve derinse, aralarında can alıcı önemde farklılıklar olması da o denli şaşırtıcı değildir. Bunlardan ikisi, görelilik kuramının merkezi unsurlarıdır. Birincisi uzayda üç boyut olmasına karşın, zamanda yalnızca iki boyut vardır; bu kaba olgunun, tahmin edebileceğiniz gibi, fizik için önemli sonuçları vardır. İkincisi de doğru çizgi iki nokta arasındaki en kısa uzaklığı gösterirken, uzay-zamandaki iki olay arasındaki doğru güzergâh *en uzun* geçen süreyi betimler.

Ama zaman ve uzay arasındaki en bariz, aşikâr ve görmeden geçemeyeceğimiz farklılık şudur ki, zamanın bir yönü olmasına karşın, uzayın yönü yoktur. Zaman geçmişten geleceğe işaret eder, ama (uzayın derinliklerinde, Yerküre gibi yerel bozucu etkilerin uzağında) uzayın bütün yönleri eşit yaratılmıştır. Fiziğin işleyişine zarar vermeden uzayda yön değiştirebiliriz, ama her türden gerçek süreçler zamanın yalnızca bir yönünde gerçekleşir, diğerinde gerçekleşmez. Şimdi bu can alıcı önemdeki farklılığa döneceğiz.

3. Zaman içinde hareket ettiğimiz bir ortamdır

Bu bölümün başlangıcında önerilen ve yabancılara "zaman"ı nasıl tanımladıklarını sorduğunuz sosyoloji deneyi aynı zamanda fizikçileri fizikçi olmayanlardan da ayırt eder. On seferin dokuzunda, bir fizikçi yukarıda sözü edilen iki mefhumdan birine atıfta bulunarak bir şeyler söyler – zaman bir koordinattır ya da zaman sürenin ölçümüdür. Aynı sıklıkta, fizikçi olmayanlar sözünü ettiğimiz üçüncü veçheyle ilgili bir şey söyleyeceklerdir – zaman geçmişten geleceğe doğru akan bir şeydir. Zaman "o zamandan" "şimdiye," sonra da "daha sonrasına" doğru akar gider.

Ya da aksine, birisi bizim zamanın içinde ilerlediğimizi söyleyebilir, sanki zaman içinden geçebileceğimiz bir maddeymiş gibi.

Klasik eseri *Zen and the Art of Motorcycle Maintenance** içindeki sonsözde Robert Pirsig, bu eğretilemenin ayrı bir dönüşümünü aktarır. Eski Yunanlar, Pirsig'e göre, "geleceği arkalarından yaklaşan, geçmişi de gözlerinin önünde uzaklaşıp giden bir şey gibi görürlerdi."[10] Düşünürseniz, bu geleceğe doğru, geçmişten uzağa yürüdüğümüz yolundaki alışılmış görüşten biraz daha dürüst görünür. Geçmişe dair, deneyimlerimize dayanarak bir şeyler biliriz, ama gelecek daha tahminidir.

Bu görüşlerde ortak olan, zamanın bir *şey* olduğu ve bu şeyin *değişebilir* olduğu –etrafımızda aktığı ya da biz ilerlerken yanımızdan geçtiği– fikridir. Ama zamanı kendi dinamikleri hatta belki de koşullara bağlı olarak farklı oranlarda değişme becerisi olan bir tür madde olarak kavramlaştırmak, can alıcı önemde bir sorunun ortaya atılmasına neden olur.

Bu ne *anlama* geliyor?

Gerçekten de akan bir şey tasavvur edin, örneğin bir nehir. Nehri etken ya da edilgen bir perspektiften düşünebiliriz: ya sabit dururuz ve su önümüzden akıp gider ya da belki de bir teknede nehirle birlikte ilerleriz ve iki kıyı bize göre hareket eder.

Nehir akar, buna kuşku yoktur. Bunun anlamı da nehir suyundaki belli bir su damlasının yerinin *zamanla değiştiğidir*; bir anda buradadır, biraz sonra da şurada. Biz de mantıklı bir şekilde nehrin akış hızından söz edebiliriz, bu da suyun hızıdır – diğer bir deyişle, suyun belli bir zamanda katettiği uzaklık. Bunu saatte mil, saniyede metre ya da istediğiniz herhangi bir "zaman aralığında katedilen uzaklık" birimiyle ölçebiliriz. Hız pekâlâ bir yerden diğerine ya da bir andan diğerine değişebilir – bazen nehir daha hızlı akar; bazen daha yavaş akar. Sahici nehirlerin gerçek akışından söz ettiğimizde, tüm bu söylenenler gayet mantıklıdır.

Ama bizatihi zamanın "aktığı" mefhumunu dikkatlice incelersek, işler çatallaşır. Nehrin akışı zamana bağlı bir değişmedir – ama zamanın zamana göre değiştiğini söylemek ne anlama gelir? Fiili bir akış, zamana göre bir yer değişmesidir – ama zamanın bir "yeri" yoktur. Pek o zaman neye göre ne değişmektedir?

---

* Robert M. Pirsig, *Zen ve Motosiklet Bakım Sanatı – Değerlerin Sorgulanması*, çev. S. Sertabipoğlu, Ayrıntı Yayınları, 2016 –çn.

[10] Pirsig (1974), 375.

Bunu şöyle düşünün: zaman akıyorsa, hızını nasıl betimleriz? "Saatte *x* saat" türü bir şey olmalıdır – birim zamanda bir zaman aralığı. Ben de size *x*'in kaç olacağını söyleyebilirim: her zaman 1. Zamanın hızı saatte 1 saattir, evrende ne olursa olsun.

Tüm bunlardan çıkartılabilecek ders, zamanın akan bir şey olarak düşünülmesinin pek de doğru olmayacağıdır. Çekici bir eğretilemedir, ama sıkı bir incelemeye dayanamaz. Bu düşünme tarzından kurtarmak için, kendimizi evrenin içinde konumlanmış, zamanın da etrafımızda aktığı şekilde tasavvur etmekten vazgeçmek yararlı olur. Tersine, evreni –tüm o çevremizdeki dört boyutlu uzay-zamanı– dış bir perspektiften izliyormuşuz gibi, bir şekilde belli bir varlık olarak düşünelim. İşte o zaman, kendi konumumuzu tam ortasındaki ayrıcalıklı bir yer gibi görmek yerine, zamanı gerçekte olduğu gibi değerlendirebiliriz.

Hiçbir-zamandan bakış

Biz fiilen evrenin dışında duramayız. Evren (bildiğimiz kadarıyla) daha büyük bir uzayda durup duran bir nesne değildir; uzay ve zaman da içinde olmak üzere, var olan her şeyin toplamıdır. Bu yüzden dışında duran birisinin bakış açısından evrenin nasıl görüneceğini merak etmiyoruz; böyle bir varlık mevcut olamaz. Doğrusu, uzay ve zamanın tümünü tek bir varlık olarak kavramaya çalışıyoruz. Filozof Huw Price bunu "hiçbir-zamandan bakış" olarak adlandırır, zamandaki herhangi belli bir andan ayrı bir perspektif.[11] Yaşamımızın her günü onunla meşgul olduğumuz için, zaman ile aşırı aşinayız. Ama zamanın içinde yer almaktan kendimizi alıkoyamıyoruz ve bütün uzay ve zamanı tek bir resimde gözlemek yararlı olur.

Hiçbir-zamandan baktığımızda, ne görürüz? Zamanla değişen hiçbir şey görmeyiz, çünkü kendimiz zamanın dışında oluruz. Bunun yerine, bütün tarihi bir seferde görürüz – geçmiş, şimdi ve gelecek. Uzay ve zamanı bir kitap olarak düşünmek gibi olur, ilkesel olarak bu kitabın herhangi bir bölümünü açabilir, hatta olayları belli zamanlarda sıralı olarak izlediğimiz bir filmin aksine, bütün sayfaları kesip birlikte önümüze açabiliriz. Buna, Kurt Vonnegut'un *Slaughterhouse-Five** romanındaki uzaylılardan

[11] Price (1996), 3.

* Kurt Vonnegut, *Mezbaha 5*, çev. A. Sezgintüredi, April Yayıncılık, 2015 –çn.

esinlenerek, Tralfamadoryalı perspektifi de diyebiliriz. Roman kahramanı Billy Pilgrim'e göre,

> Tralfamadoryalılar tüm farklı anlara, örneğin bizim Rocky Dağlarının bir bölümüne boylu boyunca baktığımız gibi bakabilirler. Bütün anların nasıl kalıcı olduğunu görebilirler ve onları ilgilendiren herhangi bir ana bakabilirler. Bizim burada, Yerkürede bir anın diğerini bir tespihteki boncuklar gibi izlediğini ve bir an geçtiğinde, ebediyen kaybolduğunu düşünmemiz, yalnızca bir yanılsamadır.[12]

Alışıldık akan zaman anlayışımızı, bu mağrur zamansız Tralfamadoryalı tüneğinden nasıl yeniden inşa edebiliriz? Bizim gördüğümüz, birbirleriyle ilişkili, bir silsile durumunda düzenlenmiş olaylardır. Saat 6:45'i gösteren bir saat var, bir de mutfakta, bir elinde bir bardak su, diğer elinde de buz duran bir kişi. Başka bir sahnede, saat 6:46'yı gösteriyor, kişi yine elinde bir bardak su tutuyor ama şimdi içinde bir buz var. Yine başka bir sahnede, saat 6:50 ve kişi elinde biraz daha soğuk bir bardak su tutuyor, çünkü buz bir miktar erimiş.

Felsefe literatüründe, buna bazen "blok zaman" ya da "blok evren" perspektifi adı verilir, bütün uzay ve zaman tek bir var olan uzay-zaman bloğu olarak düşünülür. Şu andaki amacımız açısından, önemli nokta zamanı böyle *düşünebiliyor* olmamızdır. Zihnimizin arkasında zamanın çevremizde akan ve içinde hareket ettiğimiz bir madde olduğu bir resim taşımamızdansa, ilişkili ve hep birlikte tüm evreni oluşturan olayların düzenli bir silsilesini düşünebiliriz. O takdirde, zaman bu olaylardaki ilişkilerden hareketle yeniden inşa ettiğimiz bir şey olur. "Buz on dakika süresince eridi" demek, "buz eridiğinde saat, buzun suya konmasına oranla on dakika daha sonrasını gösteriyordu" demekle eşdeğerdir. Kendimizi zamanın içine gömülü olarak düşünmenin *yanlış* olduğunu söylemekle dramatik bir kavramsal duruş edinmiş olmuyoruz; yalnızca, zaman ve evrenin neden böyle olduğunu sorarken, dışarı çıkıp bütün balmumu topuna hiçbir-zamanın perspektifinden bakabildiğimizde, bunun daha *elverişli* olduğu ortaya çıkıyor.

Görüşler şüphesiz ki farklı. Zamanı anlama mücadelesi uzun süredir var olan bir bilmece ve neyin "gerçek" neyin de "yararlı"

[12] Vonnegut (1969), 34. Aktaran, Lebowitz (2008).

olduğu hep tartışmaya açık olmuştur. Zamanın doğası üzerine en etkili düşünürlerden biri, beşinci yüzyıldaki Kuzey Afrikalı ilahiyatçı ve Kilise Babası Aziz Augustinus'tur. Augustinus belki de en çok ilk günah doktrinini geliştirmesiyle bilinir, ama ara sıra metafiziksel konulara da dönecek kadar disiplinlerarasıdır. *İtiraflar*'ın XI. Kitabında, zamanın doğasını ele alır.

> Şimdi bariz ve açık olan, geçmiş ya da geleceğin var olmadığıdır ve üç zamandan –geçmiş, şimdi, gelecek– söz etmek yanlış bir dil kullanmaktır. Belki de şöyle söylemek doğru olur: üç zaman vardır, biri olmuş olanların şimdisi, bir şimdi olanların şimdisi bir de olacak olanların şimdisi. Ruhta zamanın bu üç veçhesi vardır ve bunları da başka bir yerde görmüyorum. Geçmişi düşünen şimdi anıdır, şimdiyi düşünen şimdi farkındalıktır, geleceği düşünen şimdi de beklentidir.[13]

Augustinus bu blok-evren işinden hoşlanmaz. O "şimdici" olarak tanınanlardandır, yalnızca şimdiki anın gerçek olduğunu düşünen birisi – geçmiş ve gelecek yalnızca şimdide, elimizdeki veri ve bilgileri kullanarak yeniden inşa etmeye çalıştığımız şeylerdir. Diğer yandan, betimlemekte olduğumuz bakış açısı (mantıken) "ebediyetçi" olarak bilinir ve geçmiş, şimdi ve geleceğin aynı düzeyde gerçek olduğunu savunur.[14]

Ebediyetçilik ile şimdicilik arasındaki tartışma konusunda, tipik bir fizikçi şunu der: "Kimin umurunda?" Belki de şaşırtıcı bir şekilde, fizikçiler hangi kavramların "gerçek" olup olmadığına karar vermek konusunda çok da kafa yormazlar. Gerçek dünyanın nasıl işlediğine çok önem verirler, ama onlar açısından bu bir anlaşılabilir kuramsal modeller inşa etme ve bunları deneysel verilerle karşılaştırma meselesidir. Her modele özgü bireysel kavramlar ("geçmiş," "gelecek," "zaman") değil, yapının bütünüdür önemli olan. Gerçekten de genellikle belli bir modelin tamamen farklı kavramlar kümeleri kullanarak iki tamamen farklı şekilde betimlenmesi mümkündür.[15]

---

[13] Augustine (1998), 235.

[14] Bu konular üzerine güzel tartışmaları şuralarda bulabilirsiniz: Callender (2005), Lockwood (2005) ve Davies (1995).
Filozoflar sık sık, J. M. E. McTaggart tarafından ünlü makalesi "The Unreality of Time" (Zamanın Gerçek-dışılığı) içinde ortaya koyduğu terimlerle farklı zaman anlayışlarını tartışırlar. Bu makalede, McTaggart üç farklı zaman mef-

Bu yüzden, bilim insanı olarak bizim hedefimiz, tüm bu farklı zaman mefhumlarını –zaman saatler tarafından ölçülür, zaman uzay-zamanda bir koordinattır ve bizim zamanın aktığı yolundaki öznel duygumuzdur– başarılı bir şekilde hesaba katarak, bir gerçeklik modeli inşa etmektir. İlk ikisi, bu kitabın ikinci kısmında ele alacağımız gibi, şu anda Einstein'ın görelilik kuramı aracılığıyla çok iyi anlaşılmıştır. Ama üçüncüsü hâlâ biraz esrarengizdir. Bütün evreni tek bir varlık olarak görebilmek için zamanın dışında durma mefhumunu sürekli öne sürmem, bizatihi zaman mefhumunun kendisini, şimdiki anın içinden dar görüşümüzle deneyimlediğimiz zaman kavrayışından ayırt etmemiz gerektiğindendir.

---

humunu ayırt eder ve bunları farklı "seriler" olarak adlandırır (aynı zamanda *bkz.* Lockwood, 2005). A-serisi şimdiye göre ölçülmüş, zamanda hareket halinde bir olaylar serisidir – "bir yıl önce" sabit değil, zaman geçtikçe değişen bir anı gösterir. B-serisi, "12 Ekim 2009" gibi kalıcı zamansal işaretler taşıyan bir olaylar silsilesidir. C-serisi de herhangi bir zaman işareti taşımayan, yalnızca sıralı bir olaylar listesidir – "x, y'den önce ama z'den sonra olur." McTaggart –çok kabaca– B-serileri ile C-serilerinin, can alıcı değişme unsurunu içermeyen sabit diziler olduğunu ve dolayısıyla zamanı betimlemede yetersiz olduklarını öne sürmüştür. Ama A-serileri, belli bir olayın, zamandaki farklı anların bakış açısıyla aynı anda "geçmiş," "şimdi" ve "gelecek" olarak sınıflandırılabilecekleri için eşevresizdir (*incoherent*) (doğum anınız şimdi sizin için geçmiştir, ama anne ve babanızın ilk tanıştıkları anda, gelecektir.) Dolayısıyla der, zaman yoktur. Bu sözde çelişki size zamanın doğasından çok bir dil sorunu gibi geliyorsa, doğru yoldasınız demektir. Bir fizikçi için, evrenin dışına çıkıp bütün uzay-zamanı bir seferde düşünmek ile evrenin içindeki bir bireyin bakış açısından zamanın akar gibi göründüğünü kabul etmek arasında bir çelişki yoktur.

2
ENTROPİNİN BASKISI

Yemek de çekici değildir... Çeşitli maddeler ağzıma gelir, dil ve dişlerimle becerikli bir masajın ardından, bıçak, çatal ve kaşıkla ek heykeltıraşlık için onları tabağa aktarırım. Bu kısım en azından terapi oluşturur, yediğiniz çorba ya da benzeri değilse tabii, ki bu çok eziyetli olabilir. Ardından gayet meşakkatli soğutma, birleştirme ve depolama işi gelir, sonra da bu gıda maddelerinin süpermarkete geri götürülmesi; burada, kuşkusuz, hemen ve cömertçe eziyetim tazmin edilir. Sonra araba ya da sepetle rafların arasında dolaşır ve her kutu ya da paketi kendi yerine koyarsınız.

-Martin Amis, *Time's Arrow*[1]

Uzay gemilerini, roket silahlarını, dünya dışı uygarlıklarla çatışmaları boş verin. Güçlü bir biçimde yabancı bir ortamda bulunma duygusu uyandırmak istiyorsanız, zamanın yönünü değiştirmeniz gerekir.

Kuşkusuz, yalnızca sıradan bir öyküyü alıp onu tersten, sonuçtan başlangıca doğru anlatabilirsiniz. Edebiyatta buna "ters kronoloji" denir ve en azından Vergilius'un *Aeneas*'ı kadar eski zamanlardan beri kullanılır. Ama okuyucunun zamansal rahatlığını gerçekten sarsmak istiyorsanız, karakterlerinizin bir kısmının zamanı tersine deneyimlemesini sağlamalısınız. Bunun sarsıcı olmasının nedeni, kuşkusuz, biz bütün kurgu dışı karakterlerin zamanı aynı şekilde deneyimliyor olmasıdır; bu da evrendeki entropinin sürekli bir şekilde artıyor olmasındandır ki zamanın okunu tanımlayan da budur.

[1] Amis (1991), 11.

AYNANIN İÇİNDE

F. Scott Fitzgerald'ın –yakın zamanda Brad Pitt'in başrolünü oynadığı bir filme de uyarlanan– kısa öyküsü "The Curious Case of Benjamin Button (Benjamin Button'ın Tuhaf Hikâyesi)" yaşlı bir adam olarak doğan ve zaman geçtikçe yavaş yavaş gençleşen bir baş karakterden söz eder. Benjamin'in doğduğu hastanenin hemşireleri, anlaşılacağı gibi, şaşkın durumdadır.

> Büyük bir beyaz battaniyeye sarılmış ve beşiklerden birine kısmen tıkıştırılmış yetmiş yaşlarında gözüken yaşlı bir adam oturuyordu. Seyrek saçları neredeyse tamamen beyazlaşmıştı ve çenesinden uzun, duman rengi bir sakal sarkıyordu. Sakalı, pencereden giren rüzgârın etkisiyle, anlamsızca ileri geri sallanıyordu. Kısık, solgun gözlerle Bay Button'a bakıyordu, bakışları şaşkınca bir soru sorar gibiydi.
>
> "Delirdim mi ben?" diye gürledi Bay Button, dehşeti öfkeye dönüşmekteydi. "Bu tatsız bir hastane şakası mı yoksa?"
>
> "Bize hiç de bir şaka gibi gelmiyor," diye ciddi ciddi yanıtladı onu hemşire. "Deli olup olmadığınızı da bilemiyorum – ama bu kesinlikle sizin çocuğunuz."
>
> Bay Button'ın alnındaki soğuk terler çoğalmaya başladı. Gözlerini kapattı ve sonra tekrar açıp yeniden baktı. Bir hata yoktu –yetmiş yaşlarında bir adama bakıyordu– yetmiş yaşında bir bebek, ayakları içinde yattığı beşiğin yanlarından sarkan bir bebek.[2]

Öyküde zavallı Bayan Button'ın o sırada neler hissettiğinden söz edilmez. (Film sürümünde, yeni doğan Benjamin yaşlı ve buruşuk olmasına karşın, hiç olmazsa bebek boyutlarındadır.)

Çok garip olduğu için, bir öyküdeki karakterlerin bir kısmı için zamanın tersine geçmesi komiklik olsun diye kullanılır. Lewis Carroll'ın eseri *Through the Looking Glass*[*] içinde, Alice zamanın iki yönünde de yaşayan Beyaz Kraliçeyle karşılaştığında şaşkınlığa uğrar. Kraliçe hayk ıyor ve acıyla parmağını sallıyordur:

> "NE OLUYOR?" dedi [Alice], sesini duyurma fırsatını ilk yakaladığında. "Parmağınızı mı yaraladınız?"

---

[2] Fitzgerald (1922).

[*] Lewis Carroll, *Aynanın İçinden: Alice Harikalar Ülkesinde*, çev. T. Uyar, Can Yayınları, 2016 –çn.

"HENÜZ yaralamadım," dedi Kraliçe," Ama yakında – ah, ah, ah!"

"Ne zaman bekliyorsunuz?" diye sordu, fena halde gülme ihtiyacı duyan Alice.

"Şalımı yeniden iliştirdiğimde," diye homurdanır zavallı Kraliçe: "broş doğrudan açılacak. Ah, ah!" tam bu sözleri söylerken broş açıldı ve Kraliçe hızla atılıp tutmaya çalıştı

"Dikkat edin!" diye haykırdı Alice. "Ters tutuyorsunuz!" Ve broşu yakaladı, ama geç kalmıştı: iğne kaymış ve Kraliçe parmağını yaralamıştı.[3]

Carroll (akrabalığımız yok[4]) zamanın doğasını derin bir özelliğiyle oynuyor – nedenin sonuçtan önce geldiği. Sahne bizi gülümsetiyor ama aynı zamanda da zaman okunun dünyayı deneyimlememizde ne kadar merkezi olduğunu anımsamamızı sağlıyor.

Zaman komedi kadar trajedinin hizmetinde de tersine çevrilebilir. Martin Amis'in romanı *Time's Arrow*, ters zaman alanında, bunun çok dar bir alan olduğu düşünüldüğünde bile bir klasiktir.[5] Anlatıcı kendi bedeninden ayrılmış, Odilo Unverdorben adlı başka birisinin bedeninde yaşayan bir bilinçtir. İçinde yaşadığı kişi hayatı normal şekilde, zamanda ileriye doğru yaşar, ama homongolos# anlatıcı her şeyi tersine deneyimler – ilk anısı Unverdorben'in ölümüdür. Unverdorben'in eylemleri üzerinde denetimi ya da anılarına erişimi yoktur, yalnızca edilgen bir biçimde onun yaşamında tersinden yolculuk eder. Başlangıçta Unverdorben bize bir doktor olarak görünür, bu da anlatıcıya dehşet verici bir işmiş gibi görünür – hastalar acil odasına gelmekte, burada personel

---

3 Carroll, L. (2000), 175.

4 Şüphesiz ki.

5 Diedrick (1995) aşağıda sıralananların dışında, bir şekilde zamanın ters dönmesini içeren bir dizi öykü sıralar: Lewis Carroll'dan *Sylvie and Bruno*, Jean Cocteau'dan *Le Testament d'Orphee*, Brian Aldiss'ten *An Age* ve Philip K. Dick'ten *Counter-Clock World*. T. H. White'ın eseri *The Once and Future King* içinde, her ne kadar White bu düşünceyi tutarlı bir şekilde sürdürmek için fazla çaba sarf etmese de Merlyn karakteri zamanı tersten deneyimler. Daha yakın bir zamanda, bu teknik Dan Simmons tarafından Hyperion içinde uygulanmıştır ve Andrew Sean Greer'ın *The Confessions of Max Tivoli* ve Greg Egan'ın kısa öyküsü "The Hundred- Year Diary" içinde de ana temalardan biri olarak kullanılmıştır. Vonnegut'un *Slaughterhouse-Five* eserinde Dresden'in bombalanmasının tersten kısa bir betimlenmesi yer alır, Amis de *Time's Arrow*'un sonsözünde buna atıfta bulunur.

Homongolos: Latince simyacıların laboratuvarda ürettikleri küçük insancık anlamına gelen "Homunculus" sözcüğünden R. N. Güntekin tarafından türetilen sözcük –çn.

vücutlarından ilaçlar çıkartmakta ve bandajlarını sökmekte sonra kanları akıp çığlık atar vaziyette sokağa salmaktadır. Ama kitabın sonlarına doğru, Unverdorben'in Auschwitz toplama kampında bir asistan olduğunu öğreniriz, burada, evvelce olmayan yerde hayat yaratmaktadır – kimyasalları, elektriği ve cesetleri yaşayan insanlara dönüştürür. İşte o zaman, diye düşünür, dünya sonunda anlamlı olmaya başlamıştır.

ZAMAN OKU

Zamanın göreli yönünü tersine çevirmenin hayal gücünde etkili bir araç olmasının iyi bir nedeni vardır: Gerçek, hayali olmayan dünyada, bu hiç olmaz. Zamanın bir yönü vardır ve herkes için bu aynı yöndür. Hiçbirimiz Beyaz Kraliçe gibi, "geçmiş" olarak düşündüğümüz şey yerine (ya da ona ek olarak) "gelecek" olarak düşündüğümüz şeyi anımsayan bir karakterle karşılaşmadık.

Zamanın bir yönü olduğu, geçmişten geleceğe uzanan bir ok olduğunu söylemek ne anlama gelir? genellikle, bir şeylerin zamanda "yanlış yönde" ilerlediğini görürsek, bu gayet açıktır. Klasik bir örnek, bir atlayıcıyla havuzdur. Atlayıcı dalar, sonra da su sıçrar ve ardından da suda etrafa dalgalar yayılırsa, her şey normal demektir. Ama dalgalarla başlayan bir havuz görürsek, ardından su sıçrar ve bu sıçrayışla birlikte sudan bir atlayıcı çıkar, tramplene doğru yükselir ve tahtanın üzerinde sabit durursa, bir şeyler döndüğünü anlarız: film tersine gösteriliyordur.

Gerçek dünyada bazı olaylar hep aynı sırayla gerçekleşir. Dalma, sıçratma ve dalgalar şeklindedir, hiçbir zaman dalgalar, sıçrama ve dalma olarak olmaz. Süt alıp bir fincan kahveyle karıştırırsınız, hiçbir zaman sütlü kahveyi alıp iki sıvıyı ayırmazsınız. Bu tür silsilelere *tersinmez süreçler* denir. Bu türden silsilelerin tersine oluşmasını hayal edebiliriz, ama gerçekleştiğini görürsek, aklımıza gerçeğin sadık bir aktarımı değil, sinema hilesi gelir.

Tersinmez süreçler zaman okunun bağrında yatar. Olaylar belli bir silsile durumunda gerçekleşirler, başka bir sırayla değil. Üstelik bu sıralama, bildiğimiz kadarıyla, bütün evrende gözlemlenebilen bir şeydir. Bir gün, uzak bir güneş sisteminde, zeki yaşama ev sahipliği eden bir gezegen bulabiliriz, ama hiç kimse birkaç kaşık hareketiyle kahve ile sütü (ya da bunların yerel kar-

şılıklarını) ayıran canlılar bulmayı düşünmez. Bu neden şaşırtıcı değil? Dışarıda büyük bir evren var; olaylar pekâlâ farklı silsileler durumunda gerçekleşebilir. Ama gerçekleşmezler. Bazı türden süreçler –kabaca söylersek, birçok bireysel hareketli parçası olan karmaşık eylemler– için bir şekilde dünyanın dokusuna işlemiş belirli bir düzen varmış gibidir.

Tom Stoppard'ın oyunu *Arcadia*, zaman okunu merkezi eğretileme olarak kullanır. Zamanının çok ötesinde olan harika çocuk Thomasina, kavramı eğitmenine şöyle açıklar:

> THOMASINA: Sütlacını karıştırdığında, Septimus, kaşık dolusu reçel astronomi atlasımdaki göktaşı resmine benzer kırmızı izler çizerek yayılır. Ama tersten karıştırmak istersen, reçel yeniden bir araya gelmez. Aslında, sütlaç farkına varmaz ve eskiden olduğu gibi pembeleşmeyi sürdürür. Bunun garip olduğunu düşünüyor musun?
>
> SEPTIMUS: Hayır.
>
> THOMASINA: Ben düşünüyorum. Bir şeyleri karıştırarak ayıramazsın.
>
> SEPTIMUS: Yapamazsın, zamanın geriye doğru akması gerekir ve bu olamayacağına göre, hep olduğu gibi karıştırmayı sürdürmeliyiz, düzensizlikten daha düzensizliğe, pembe tamamlanana kadar, değişmeden, değişemeyecek şekilde ve ebediyen öyle olur. Buna özgür irade ya da öz belirlenim denir.[6]

Yani zaman oku evrenimizin kaba bir gerçeğidir. Muhtemelen evrenimiz hakkındaki vahşi gerçek; şeylerin bir sırayla olması ve ters sırayla olmaması olgusu dünyada yaşayış şeklimizin içine derinlemesine işlemiştir. Bu neden böyledir? Neden X'in ardından sık sık Y'nin geldiği, Y'nin ardından hiçbir zaman X'in gelmediği bir evrende yaşıyoruz?

Bunun yanıtı yukarıda sözünü ettiğim "entropi" kavramında yatar. Enerji ya da sıcaklık gibi, entropi de fiziksel sistemin özel durumu hakkında bir şeyler anlatır; özellikle, sistemin ne kadar düzensiz olduğunu ölçer. Üst üste düzgün bir şekilde dizilmiş bir tomar kâğıdın düşük bir entropisi vardır; aynı tomarın gelişigüzel masanın üzerine dağılmasının entropisi yüksektir. Yanında bir kaşık sütle bir fincan kahvenin entropisi düşüktür, çünkü mo-

[6] Stoppard (1999), 12.

leküllerin "süt" ve kahve" olarak belli bir düzenli ayrılmışlıkları vardır, halbuki ikisinin karışımının entropisi görece yüksektir. Zaman okunu yansıtan bütün tersinmez süreçlerin –yumurtaları omlete dönüştürebiliriz, ama omleti yumurtaya dönüştüremeyiz, parfüm bir odaya dağılır, ama hiçbir zaman toplanıp şişeye geri girmez, buz küpleri suda erir, ama ılık su birdenbire buz küplerine dönüşmez– ortak bir özelliği vardır: sistem düzenden düzensizliğe doğru giderken, entropi her tarafta *yükselir*. Evreni ne zaman dağıtsak, entropiyi yükseltiriz.

Bu kitaptaki işimizin büyük bir bölümü, bir tek entropi fikrinin bu kadar farklı olaylar kümesini bir araya getirdiğini açıklamak, ardından da "entropi" denilen bu şeyin aslında ne olduğu ve neden yükselmeye eğilimli olduğuna biraz daha derinlemesine girmekten oluşuyor. Nihai görevimiz de –günümüz fiziğinde hâlâ açıkta olan derin bir soru– entropinin, o zamandan beri yükseldiğine göre, neden geçmişte o kadar düşük olduğunu sormak.

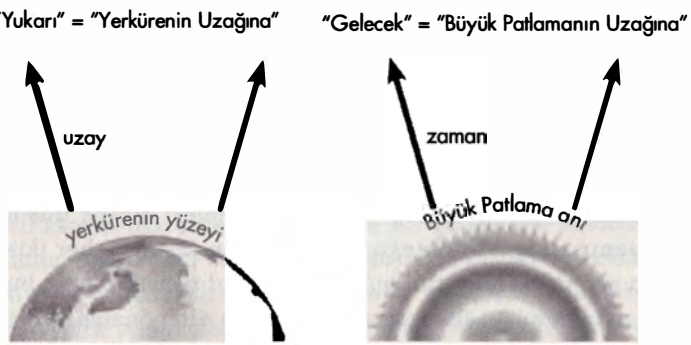
GELECEK VE GEÇMİŞE KARŞI, YUKARI VE AŞAĞI

Ama önce, daha evvelki bir soruyu düşünmemiz gerekir: bazı şeylerin zamanın bir yönünde gerçekleşip diğer yönünde gerçekleşmediğine şaşırmalı mıyız? Zaten, her şeyin tersinir olması gerektiğini de kim söylemiş?

Zamanı, gerçekleşen olayların işaretlenmesi olarak düşünün. Bu, zamanın uzay gibi olduğu durumlardan biridir – her ikisi de şeylerin evrendeki yerlerini bulmamıza yardımcı olur. Ama bu bakış açısından zaman ile uzay arasında can alıcı öneme sahip bir farklılık da vardır: uzaydaki yönler eşit yaratılmıştır, zamandaki yönlerse (yani "geçmiş" ve "gelecek") çok farklıdır. Burada, Yeryüzünde, uzaydaki yönler kolayca ayırt edilebilir – bir pusula bize kuzeye, güneye, doğuya ya da batıya mı gittiğimizi söyler, hiç kimse de yukarıyla aşağıyı karıştırma tehlikesiyle karşı karşıya değildir. Ama bu doğanın altında yatan derin yasaların bir yansıması değildir, sadece dev bir gezegende yaşadığımız ve ona göre yönleri tanımlayabildiğimiz içindir. Herhangi bir gezegenden uzakta, bir uzay giysisinin içinde yüzüyor olsaydınız, uzaydaki bütün yönler gerçekten ayırt edilemez olurdu; tercih edilebilecek "yukarı" ve "aşağı" mefhumları olmazdı.

Bunu söylemenin teknik yolu, doğanın yasalarında bir *simetri* bulunduğudur: uzaydaki her yön diğerleriyle eşittir. "Uzayın yönünü tersyüz etmek" kolaydır: bir fotoğraf çekip tersine basmak ya da aynaya bakmak. Çoğunlukla, aynadaki görüntü özellikle dikkat çekmeyecek gibidir. Bariz karşı örnek yazıdır, o konuda ters bir görüntüye baktığımızı anlamak kolaydır; bunun nedeni, yazının, Yerküre gibi, bir yön tercih etmesidir (bu kitabı soldan sağa okuyorsunuz). Ama insan yaratılarıyla dolu olmayan çoğu sahnenin resmi doğrudan ya da tersinden de baksak, bize aynı ölçüde "normal" görünür.

Bunu zaman ile karşılaştırın. "Bir görüntüye aynadan bakmak" (uzayın yönünü değiştirmek) sadece "bir filmi tersinden oynatmaktır" (zamanın yönünü tersine çevirmek). Bu durumda zamanın tersine çevrildiğini anlamak kolaydır – zaman okunu tanımlayan tersinmez süreçler aniden yanlış olagelmeye başlarlar. Uzay ile zaman arasındaki bu derin farklılığın kökeni nedir?



Şekil 5: Yerküre uzayda seçilmiş bir yön tanımlar, Büyük Patlama da zamanda seçilmiş bir yön tanımlar.

Ayaklarımızın altında Yerkürenin bulunmasının yukarıyı aşağıdan ayırt ederek bir "uzay oku" seçtiği doğruysa da bunun doğanın altta yatan yasalarının yansıması olmayıp, yerel, sınırlı bir olgu olduğu açıktır. Kendimizi kolaylıkla seçilmiş bir yönün olmadığı uzayda tasavvur edebiliriz. Ama doğanın altta yatan yasaları, uzayda bir yön seçmedikleri gibi, bir zaman yönü de seçmezler. Dikkatimizi birkaç oynar parçası olan ve hareketi bizim karmaşık yerel koşullarımız yerine temel fizik kurallarını yansıtan çok

basit sistemlerle kısıtlarsak, zaman oku yoktur – filmin tersine oynatılıp oynatılmadığını söyleyemeyiz. Galileo'nun, sakince ileri geri sallanan avizesini düşünün. Birisi size avizenin bir filmini gösterirse, ileri mi geri mi oynatıldığını fark edemezsiniz – hareketi zamanın her iki yönünde de aynı rahatlıkla işleyecek kadar basittir.

Dolayısıyla zaman oku, en azından bildiğimiz kadarıyla, altta yatan fizik yasalarının bir özelliği değildir. Doğrusu, uzaydaki Yerküre tarafından seçilmiş yukarı/aşağı yönleri gibi, zamanın seçilmiş yönü de çevremizin özelliklerinin bir sonucudur. Zamanın durumunda, bizim etkili bir nesnenin yakınında yaşıyor olmamızdan kaynaklanmaz; etkili bir olayın zamansal yakınında yaşıyor olmamızdan kaynaklanır: evrenin doğumu. Gözlemlenebilir evrenimizin başlangıcı, Büyük Patlama olarak bilinen sıcak, yoğun durumun çok düşük bir entropisi vardı. Bu olayın etkisi, bizi zamanda yönlendirir, tıpkı Yerkürenin mevcudiyetinin bizi uzayda yönlendirmesi gibi.

DOĞANIN EN GÜVENİLİR YASASI

Tersinmez süreçlerin altında yatan ilke Termodinamiğin İkinci Yasasında özetlenmiştir:

> Yalıtılmış bir sistemin entropisi zaman içinde ya sabit kalır ya da artar.

(Birinci Yasa enerjinin korunduğunu söyler.[7]) İkinci yasa muhtemelen fiziğin tümündeki en güvenilir yasadır. Bin yıl sonra hangi fizik ilkesinin hâlâ çiğnenemez olarak görüleceğini tahmin etmeniz istense, İkinci Yasa iyi bir tahmin olur. Yirminci yüzyıl başlarının önde gelen astrofizikçilerinden Sir Arthur Eddington bunu vurgulayarak ifade etmişti:

---

[7] Termodinamiğin Birinci Yasasına ("herhangi bir fiziksel süreçte toplam enerji sabit kalır") ve İkinci Yasasına ("kapalı bir sistemin entropisi hiç azalmaz") ek olarak bir de Üçüncü Yasa vardır: Bir sistemin sıcaklığı düşürüldüğünde, entropinin de asgari olduğu bir asgari değer (mutlak sıfır) vardır. Bu üç yasa renkli bir tarzda şöyle yorumlanmıştır: "Kazanamazsın; berabere kalamazsın; hatta oyundan çıkamazsın bile." Bir de Sıfırıncı Yasa vardır: iki sistem de üçüncü bir sistemle termal dengedeyse, birbirleriyle de termal dengededirler. Buna da garip bir spor benzetmesi yapmakta özgürsünüz.

> Birisi size en sevdiğiniz evren kuramının Maxwell denklemleriyle (elektrik ve manyetizma yasaları) uyuşmadığını gösterirse – bu Maxwell denklemleri için kötü olur. Gözlemlerle çelişiyorsa – eh, deneyciler de bazen işleri karıştırabilir derim. Ama eğer kuramınız Termodinamiğin İkinci Yasasıyla çelişiyorsa, size umut veremem; kuramınız için derin bir utanç içinde batmaktan başka yapacak bir şey kalmaz.[8]

C. P. Snow –Britanyalı entelektüel, fizikçi ve romancı– belki de en çok "iki kültürün" fen bilimleri ve beşeri bilimlerin birbirlerinden uzaklaştıkları ve her ikisinin de ortak uygarlığımızın birer parçası olmaları gerektiğinde ısrarcı olmasıyla tanınır. Her eğitimli kişinin anlaması gereken en temel bilimsel bilgiyi önermesi gerektiğinde, İkinci Yasayı seçmişti:

> Birçok kez, geleneksel kültür standartlarına göre iyi eğitim almış ve büyük bir zevkle bilim insanlarının cehaletinden duydukları şaşkınlığı ifade eden insanların bir araya geldiği toplantılarda bulundum. Birkaç kez tahrik edildim ve topluluğa, kaçının Termodinamiğin İkinci Yasasını betimleyebileceğini sordum. Aldığım yanıt soğuktu: aynı zamanda da olumsuz. Ama ben onlara, "Hiç Shakespeare'in bir eserini okudunuz mu?" sorusunun bilimsel muadilini soruyordum.[9]

Eminim ki Baron Snow Cambridge kokteyl partilerinin yıldızı oluyordu. (Hakkını teslim etmek gerekirse, daha sonra fizikçilerin bile İkinci Yasayı hakkıyla anlamadıklarını kabul etmişti.)

Modern entropi tanımımız 1877'de Avusturyalı fizikçi Ludwig Boltzmann tarafından önerilmişti. Ama entropi kavramı ve Termodinamiğin İkinci Yasasında kullanılması daha eskiye, 1865'te Alman fizikçi Rudolf Clausius'a dayanır. İkinci Yasa da daha da eskilere, 1824'te Fransız askeri mühendis Nicolas Léonard Carnot'ya dayanır. Clausius nasıl oldu da tanımını bilmeden entropiyi İkinci Yasada kullandı ve Carnot nasıl entropi kavramını bile kullanmadan İkinci Yasayı formüle etti?

On dokuzuncu yüzyıl termodinamiğin kahramanlık yıllarıdır – ısı ve özelliklerinin incelenmesi. Termodinamiğin öncüleri sıcaklık, basınç, hacim ve enerji arasındaki etkileşimleri incele-

---

8 Eddington (1927), 74.

9 Snow (1998), 15.

diler. İlgileri hiç de soyut değildi – bu sanayi çağının şafağıydı ve çalışmaları büyük ölçüde daha iyi buhar makineleri geliştirme arzusundan kaynaklanıyordu.

Bugün fizikçiler ısının enerjinin bir biçimi olduğunu ve bir nesnenin sıcaklığının yalnızca nesnedeki atomların ortalama kinetik enerjisinin (hareket enerjisi) bir ölçüsü olduğunu anlıyorlar. Ama 1800'de, bilim insanları atomlara inanmıyordu ve enerjiyi de çok iyi anlamıyorlardı. Buhar motoru teknolojisinde İngilizlerin Fransızlardan daha ileride olmaları nedeniyle gururu yaralanmış olan Carnot, böylesi bir motorun ne kadar verimli olabileceğini anlama görevini üstlendi – belli miktarda yakıt yakarak ne kadar yararlı iş çıkartabilirdiniz? Böyle bir çıkartmanın temel bir sınırı olduğunu gösterdi. Carnot, gerçek makinelerden ideal "ısı motorlarına" entelektüel bir sıçramada bulunarak, belli bir sıcaklıkta verili bir yakıt miktarından en fazla işi çıkartacak bir olası en iyi motor olduğunu kanıtladı. Marifet, şaşırtıcı değildir ki, atık ısıyı en aza indirmekti. Isıyı kış mevsiminde evlerimizi ısıtmakta yararlı olarak düşünebiliriz, ama bu fizikçilerin "iş" olarak düşündüklerini –bir pistonu ya da çarkı bir yerden diğerine hareket ettirmek– yapmakta yardımcı olmaz. Carnot'nun idrak ettiği, olası en verimli motorun bile mükemmel olamayacağıydı; arada bir miktar enerji kaybolacaktır. Diğer bir deyişle, buhar motoru işlemi tersinmez bir süreçtir.

Böylece Carnot motorların geri alınamayacak bir şey yaptıklarını takdir etti. 1850'de bunun doğanın bir yasasını yansıttığını anlayan da Clausius oldu. Yasasını şöyle formüle etti: "Isı soğuk gövdelerden sıcak olanlara kendiliğinden akmaz." Bir balonu sıcak suyla doldurup soğuk suya daldırın. Herkes sıcaklığın ortalamaya gelme eğilimi göstereceğini bilir: balondaki su soğurken, ortamdaki su ısınacaktır. Tersi hiç olmaz. Fiziksel sistemler bir *denge* durumuna doğru evrilirler – olabildiğince tekbiçimli olan, her parçası eşit sıcaklıkta durgun bir kurulum. Bu içgörüden hareketle Clausius, Carnot'nun buhar makineleri üzerine sonuçlarını yeniden türetebilmiştir.

Peki Clausius'un yasasının (ısı hiçbir zaman soğuk gövdelerden sıcak olanlara kendiliğinden akmaz) İkinci Yasayla (entropi hiçbir zaman kendiliğinden azalmaz) ilgisi nedir? Yanıt, ikisi de aynı yasadır. 1865'te Clausius ilk düsturunu "entropi" olarak ad-

landırdığı yeni bir nicelikle yeniden formüle etmeyi başardı. Kademeli olarak soğuyan bir nesne alın – çevresindeki ortama ısı yayan. Bu süreç olagelirken, her an için kaybedilen ısıyı alın ve bunu nesnenin sıcaklığına bölün. O zaman entropi, tüm süreç boyunca bu niceliğin biriken miktarı olur (Isı kaybının sıcaklığa bölünmesi). Clausius ısının sıcak nesnelerden soğuk olanlara akma eğiliminin tam olarak kapalı bir sistemin entropisinin hep yükseleceği, hiç azalmayacağı iddiasıyla eşdeğer olduğunu gösterdi. Bir denge kurulumu sadece entropinin en yüksek değerine ulaştığı ve gidecek başka yerinin kalmadığı durumdur; temas durumundaki bütün nesneler aynı sıcaklıktadır.

Bu biraz soyut gözüktüyse, entropi görüşünü toparlamak için daha basit bir yol da vardır: belli bir miktar enerjinin *yararsızlığını* ölçer.[10] Bir galon benzinin içinde enerji vardır ve yararlıdır; onunla iş yapabiliriz. Bu benzini bir motoru çalıştırmak üzere yakma süreci toplam enerji miktarını azaltmaz; olup bitenlerin titizce kaydını tutarsak, enerji hep korunur.[11] Ama süreç esnasında enerji giderek daha yararsız hale gelir. Motorun harekete geçirdiği aracın hareketinin yanında, ısı ve gürültüye de dönüşür, ama bu hareket de sürtünme nedeniyle sonunda yavaşlar. Enerji yararlıdan yararsıza dönüşürken de entropi hep yükselmektedir.

İkinci Yasa bir sistemin entropisinin hiç düşmeyeceği anlamına gelmez. Örneğin bir fincan kahveden sütü ayıracak bir makine icat edebiliriz. Ama mesele şu ki, bir şeyin entropisini ancak başka bir yerde entropi yaratarak düşürebiliriz. Biz insanlar, süt ve kahveyi yeniden düzenleyecek makineler, her birinin tüketeceği gıda ve yakıt – tüm bunların da entropisi vardır ve süreç esnasın-

[10] Doğrusu, bu entropi ve İkinci Yasa kavramlarının ilk parıltıları için Sadi Carnot'nun babası, Fransız matematikçi ve ordu subayı Lazare Carnot'nun hakkını teslim etmek gerekir. 1784'te, Lazare Carnot mekanik alanında, devridaimin olanaksız olduğunu çünkü herhangi bir gerçekçi makinenin parçalarının sarsılması ve tangırdaması nedeniyle yararlı enerjiyi dağıtacağını ileri sürdüğü bir makale kaleme almıştı. Kendisi daha sonra Fransız Devrim Ordusunun başarılı önderlerinden biri oldu.

Aslında tam olarak doğru değil. Einstein'ın kütleçekimi uzay-zamanın eğriliğine göre açıklayan genel görelilik kuramı, genelde "enerji" olarak adlandırdığımız şeyin örneğin genişleyen bir evrende gerçekte korunmadığını ima eder. Bundan 5. Bölüm içinde söz edeceğiz. Ama içten yanmalı motorlar söz konusu olduğunda, evrenin genişlemesi ihmal edilebilir ve enerji gerçekten de korunmaktadır.

da kaçınılmaz olarak artacaklardır. Fizikçiler *açık sistemler* –dış dünyayla etkileşime girip entropi ve enerji değişimine giren nesneler– ile *kapalı sistemler* –esas olarak dış etkilerden yalıtılmış nesneler– arasında ayrıma giderler. Makinemize koyduğumuz kahve ve süt gibi açık sistemlerde, entropi kuşkusuz azalabilir. Ama kapalı bir sistemde –diyelim ki kahve artı süt artı makine artı bunu çalıştıran insan artı yakıt vs'den oluşan toplam sistemde– entropi hep artar ya da en azından sabit kalır.

ATOMLARIN YÜKSELİŞİ

Carnot, Clausius ve meslektaşlarının termodinamik üzerine büyük içgörüleri hep "fenomenolojik" bir çerçevede olmuştur. Büyük resmi biliyorlardı, ama altında yatan mekanizmayı değil. Özellikle, atomları bilmiyorlardı, bu yüzden de sıcaklık, enerji ve entropiyi bazı mikroskobik alt özdeklerin özellikleri olarak düşünmüyorlardı; bunların her birini bizatihi gerçek şeyler olarak düşünüyorlardı. O günlerde özellikle enerjiyi bir hacimden diğerine akabilecek bir tür akışkan biçimi olarak düşünmek olağandı. Enerji-akışkanın bir adı bile vardı: "kalorik." Bu anlayış düzeyi de termodinamiğin yasalarını formüle etmek için pekâlâ uygundu.

Ama on dokuzuncu yüzyıl süresince fizikçiler dünyada karşılaştığımız birçok maddenin belli sayıdaki "atom" olarak bilinen temel bileşenin farklı düzenlemelerinden oluştuğuna yavaş yavaş ikna olmaya başladılar. (Aslında fizikçiler atom kuramını kabul etmek konusunda kimyacıların gerisinde kalmışlardı.) Bu Demokritos ve diğer Antik Yunanlara dayanan eski bir fikirdi, ama on dokuzuncu yüzyılda kabul görmeye başlamasının basit bir nedeni vardı: atomların varlığı, kimyasal tepkimelerin yalnızca iddia edilebilen birçok gözlemlenmiş özelliğini açıklayabiliyordu. Bilim insanları, basit bir fikrin geniş bir gözlemlenmiş olguyu açıklayabilmesinden hoşlanır.

Bu günlerde, Demokritos'un atomlarının rolünü kuark ve lepton gibi temel parçacıklar oynamaktadır, ama fikir aynıdır. Modern bir bilim insanının "atom" dediği, karbon ya da nitrojen gibi farklı kimyasal element olarak kabul edilebilen en küçük madde birimidir. Ama şimdi bu atomların bölünemez olmadığını anlıyoruz; atom çekirdeğinin yörüngesindeki elektronlardan, çekirdek

de proton ve nötronlardan, bunlar da farklı kuark birleşimlerinden oluşuyor. Maddenin bu elemanter yapı taşlarının uyduğu kuralların araştırılmasına genellikle "temel" fizik denir, ama "elemanter" fizik demek daha hassas olacaktı (ve herhalde daha az kendi kendini yüceltici). Bundan sonra, *atom* sözcüğünü antik Yunanların kullandığı elemanter* parçacıklar anlamında değil, yerleşik on dokuzuncu yüzyıl kimyasal elementler anlamında kullanacağım.

Temel fizik yasalarının büyüleyici bir özelliği vardır: evrendeki bütün maddelerin davranışlarını yönetiyor olsalar da gündelik yaşamınızda bunları bilmenize gerek yoktur. Doğrusu, yalnızca yakın deneyimleriniz temelinde bunları fark etmekte zorlanırsınız. Çünkü çok büyük parçacık yığınları, alttaki daha küçük yapılara gerçekte bağlı olmayan, farklı özerk davranış kurallarına uyarlar. Altta yatan kurallar "mikroskobik" ya da sadece "temel" olarak adlandırılır, yalnızca büyük sistemlere uygulanabilecek ayrı kurallar ise "makroskobik" ya da "ortaya çıkan" olarak adlandırılır. Sıcaklık, ısı ve benzerlerinin davranışı kuşkusuz atom terimleriyle anlaşılabilir: bu "istatistiksel mekanik" olarak bilinen konudur. Ama aynı zamanda atomlar hakkında hiçbir şey bilmeden de pekâlâ anlaşılabilir: bu sözünü ettiğimiz fenomenolojik yaklaşımdır ve "termodinamik" olarak bilinir. Karmaşık, makroskobik sistemlerde, altta yatan mikroskobik kurallardan düzenli eğilimlerin dinamik olarak çıkması, fizikte sıradan bir olaydır. Bazen resmediliyor oluşunun aksine, temel fizik ile ortaya çıkan olgular arasında bir rekabet yoktur; her ikisi de büyüleyicidir ve doğayı anlamamız açısından can alıcı öneme sahiptir.

Atom kuramını destekleyen ilk fizikçilerden biri, aynı zamanda modern elektrik ve manyetizma kuramlarının nihai formülasyonundan da sorumlu olan İskoç James Clerk Maxwell'dir. Max-

* Burada çeviriden doğan bir karışıklık söz konusu. İngilizcede "fundamental" ve "elementary" sözcükleri Türkçede fizik bağlamında aynı "temel" sözcüğüyle karşılanıyor. Dolayısıyla yazarın burada ifade ettiği tercih biraz havada kalıyor. Yalnızca buraya özgü olarak, yazarın kastını açıklama uğruna "elementary" sözcüğünü "elemanter" olarak karşıladık, ancak yanlış anlaşılmalara yer vermeme adına, kitabın diğer bölümlerinde alışıldık şekilde "temel" sözcüğünü kullanacağız –çn.

well, Avusturya'dan Boltzmann'la birlikte (ve birçok başkasının izinden) "kinetik kuram" olarak bilinen kurama göre gazların davranışlarını açıklamakta atom fikrini kullanmıştır. Maxwell ve Boltzmann, bir kaptaki belli sıcaklıkta sabit tutulan bir gazın atomlarının belli bir hız dağılımına –şu kadarı daha hızlı, bu kadarı daha yavaş, vs– sahip olduğunu belirlemeyi başarmışlardır. Bu atomlar doğal olarak kabın duvarlarına çarpacaklar ve bu her olduğunda çok küçük bir kuvvet uygulayacaklardır. Ve bu çok küçük kuvvetlerin toplam etkisinin de bir adı vardır: bu gazın basıncıdır. Bu yolla, kinetik kuram gazların özelliklerini daha basit kurallarla açıklamıştı.

ENTROPİ VE DÜZENSİZLİK

Ama kinetik kuramın büyük zaferi, Boltzmann tarafından entropinin mikroskobik bir anlayışının formüle edilmesinde kullanılmasıydı. Boltzmann bazı makroskobik sistemlere baktığımızda, kesinlikle her bir atomun tam özelliklerinin izini süremediğimizi fark etti. Önümüzde bir bardak su varsa ve birisi sinsice yaklaşıp (diyelim ki) bazı su moleküllerinin dizilişini değiştirip bunu ortalama sıcaklık, yoğunluk vs'yi değiştirmeden yaparsa, olanı fark edemeyiz. Belli atomların bizim makroskobik perspektifimizden *ayırt edilemeyecek* birçok farklı dizilişi vardır. Sonra, düşük entropili nesnelerin bu tür yeniden dizilimlere karşı çok daha hassas olduğunu fark etti. Bir yumurtanız varsa ve sarısıyla akının çok küçük parçalarının yerini değiştirmeye başlarsanız, kısa sürede bunu fark edersiniz. Bizim "düşük-enropi" olarak gördüğümüz durumlar, içerdikleri atomların yeniden dizilmesinden kolayca etkilenirken, "yüksek-entropi" olanlar daha dayanıklı olurlar.

Böylece Boltzmann, Clausius ve başkaları tarafından tanımlanan entropi kavramını almış ve bunu atom terimleriyle yeniden tanımlamıştı:

> Entropi, atomların, makroskobik perspektiften fark edilmeyecek şekilde belli mikroskobik dizilişlerinin sayısının ölçümüdür.[12]

[12] "Bireysel parçaları kaç kez yeniden dizebileceğimizin ölçüsü" derken, "bireysel parçaları kaç kez yeniden dizebileceğimizin logaritmasıyla orantılıdır" demek istiyoruz. Logaritma için Eklere, entropinin istatistiksel tanımı için de 9. Bölüme bakınız.



Şekil 6: Ludwig Boltzmann'ın Zentralfriedhof, Viyana'daki mezarı. Yazıttaki denklem, $S = k$ log W, makroskobik görünümünü değiştirmeden bir sistemdeki mikroskobik bileşenleri kaç şekilde değiştirebileceğinize bağlı olarak entropinin formülüdür. (Ayrıntılar için, *bkz.* Bölüm 8.)

Bu içgörünün önemini abartmak mümkün değildir. Boltzmann öncesinde, entropi fenomenolojik bir termodinamik kavramıydı ve kendi kurallarına (İkinci Yasa gibi) bağlıydı. Boltzmann sonrasında entropinin davranışı çok daha derinde yatan ilkelerden *türetilebiliyordu*. Özellikle, entropinin neden artmaya eğilimli olduğu birdenbire çok berrak bir hale gelmişti:

> Yalıtılmış bir sistemde entropi artma eğilimindedir, çünkü entropinin artmasını gerektiren nedenler, azalmasını gerektirenlerden daha fazladır.

En azından, bu formülasyon kulağa çok daha mantıklı geliyor. Aslında, can alıcı önemde bir varsayımı araya sıkıştırıyor: düşük entropisi olan bir sistemle başladığımızı. Yüksek entropisi olan bir sistemle başlarsak, dengede oluruz: hiçbir şey olmaz. Bu başlangıç sözcüğü, erken zamanlara daha sonrakiler karşısında öncelik tanıyarak, zamandaki bir asimetriyi araya sıkıştırıyor. Bu akıl yürütme hattı da bizi Büyük Patlamanın düşük entropisine kadar geri götürüyor. Hangi nedenle olduysa, evrenin parçalarını düzenleyebileceğimiz bütün olasılıklar içinde, erken zamanlarda bunlar çok özel bir düşük entropi kurulumundaydılar.

Bu şerh bir yana, Boltzmann'ın entropi kavramını formüle edişinin zaman oku anlayışımızda ileriye doğru büyük bir sıçrama oluşturduğu tartışmasızdır. Ama anlayıştaki bu artışın da bir be-

deli olmuştur. Boltzmann öncesinde, İkinci Yasa mutlaktı – sarsılmaz bir doğa yasası. Ama entropinin atom terimleriyle tanımlanması, çarpıcı bir sonuçla birlikte geldi: kapalı bir sistemde bile entropi yükselmesi zorunlu değildir; sadece, yükselmesi *olasıdır*. (Göreceğimiz gibi, büyük ölçüde olası, ama yine de...) Bir kutu yüksek entropi durumunda düzgün dağıtılmış gaz verildiğinde, yeteri kadar beklersek, atomların rastgele hareketi, sonunda hepsinin kutunun bir yanında birikmesine neden olacaktır – "istatistiksel bir dalgalanma." Sayılara girerseniz, böylesi bir dalgalanma için beklemeniz gereken sürenin evrenin yaşından çok daha yüksek olduğu görülür. Bu bizim endişelenmemizi gerektiren bir durum değildir. Ama mevcuttur.

Bazıları bundan hoşlanmadılar. Hiçbir şey olmasa da Termodinamiğin İkinci Yasasının kesinlikle çiğnenemez olmasını istiyorlardı, çoğunlukla uyulmasını değil. Boltzmann'ın önerisi çok tartışma yarattı, ama bugün artık evrensel kabul görüyor.

ENTROPİ VE YAŞAM

Bunlar çok büyüleyici şeyler, en azından fizikçiler için. Ama bu fikirlerin sonuçları buhar makineleri ile bir fincan kahvenin çok ötesine gider. Zaman oku kendisini birçok şekilde gösterir – yaşlandıkça vücutlarımız değişir, geleceği değil geçmişi anımsarız, sonuçlar hep nedenlerden sonra gelir. Tüm bu olayların izinin İkinci Yasaya uzandığı görülür. Entropi, tam anlamıyla yaşamı olası kılar.

Yerkürede yaşamı sağlayan enerjinin en önemli kaynağı Güneştir. Clausius'tan öğrendiğimiz gibi, ısı doğal olarak sıcak bir nesneden (Güneş) daha soğuk bir nesneye (Yerküre) doğru akar. Ama öykünün sonu bu olsaydı, çok geçmeden iki nesne birbirleriyle dengeli bir duruma gelirdi – aynı sıcaklığa gelirlerdi. Güneş bütün gökyüzünü kaplıyor olsaydı, olacak olan da buydu. Sonuç gerçekten de mutsuz bir dünya olurdu. Kesinlikle yaşamın varoluşuna izin vermeyecek bir yer olurdu – yalnızca sıcaklığın yüksek olması nedeniyle değil, *durağan* olmasıyla da. Böylesi dengeli bir dünyada hiçbir şey değişmezdi.

Gerçek evrende, gezegenimizin Güneşin sıcaklığına erişene kadar ısınmamasının nedeni, Yerkürenin uzaya ışıyarak ısı kaybet-

mesidir. Ve bunu yapabiliyor olmasının tek nedeni de Clausius'un gururla belirteceği gibi, uzayın Yerküreden çok daha soğuk olmasıdır.[13] Güneşin çoğunlukla soğuk bir gökte sıcak bir nokta olması nedeniyle, Yerküre ısınmaz, yalnızca Güneşin enerjisini emer, işler ve uzaya ışır. Bu arada, kuşkusuz entropi yükselir; Güneş ışıması şeklindeki sabit miktarda bir enerjinin, Yerkürenin uzaya ışıdığı aynı miktarda enerjiden çok daha düşük entropisi vardır.

Bu süreç de Yerkürenin biyosferinin neden durağan bir yer olmadığını açıklar.[14] Güneşten enerji alırız, ama denge noktasına erişene kadar bizi ısıtmaz; çok düşük entropili bir ışımadır, bu yüzden onu kullanıp yüksek entropili ışıma olarak salabiliriz. Tüm bunlar yalnızca evrenin bir bütün olarak ve özellikle de Güneş Sisteminin şu anda görece düşük bir entropiye (ve geçmişte de daha düşük bir entropiye) sahip olduğu için mümkündür. Eğer evren termal dengeye yakın bir yerlerde olsaydı, ebediyen hiçbir şey olmazdı.

İyi olan hiçbir şey ebediyen devam etmez. Evrenimiz canlı bir yerdir, zira dengeye erişip her şeyin durmasına kadar entropinin artması için daha çok imkân vardır. Bu kaçınılmaz bir sonuç değildir – entropi ebediyen yükselmeye devam edebilir de. Ya da entropi bir azami değere erişip durabilir. Bu senaryo evrenin "ısı ölümü" olarak bilinir ve daha 1850'li yıllarda, termodinamikteki heyecan verici kuramsal gelişmeler sırasında düşünülmüştür. William Thompson, Lord Kelvin, ilk Atlantik aşırı telgraf kablosunun döşenmesinde de önemli bir rol oynamış olan Britanyalı bir fizikçi ve mühendistir. Ama derin düşüncelere daldığında evrenin geleceği üzerine kafa yormuştu:

---

[13] Güneşin yüzeyinin sıcaklığı yaklaşık 5800 Kelvin'dir (Bir Kelvin bir Celcius'la aynıdır, ancak sıfır Kelvin –273 °C'dir: mutlak sıfır, olası en düşük sıcaklık). Oda sıcaklığı yaklaşık 300 Kelvin'dir Uzay –ya da daha doğrusu uzayı dolduran kozmik ardalan– yaklaşık 3 Kelvin'dir. Penrose (1989) içinde soğuk bir gökyüzünde sıcak bir nokta olarak Güneşin rolü üzerine hoş bir tartışma vardır.

Bazen yaradılışçıların Yerküredeki yaşamın tarihinin sözümona daha basit biçimlerden giderek daha karmaşık organizmalara doğru ilerlemesini içerdiği için, Darwinci doğal seçilime göre evrimin, entropinin artışıyla çeliştiğine dair iddialarını duyarsınız. Bu birçok düzeyde çılgınlıktır. En temel düzey basitçe şudur: İkinci Yasa kapalı sistemlere ilişkindir ve bir organizma (ya da bir tür veya biyosfer) kapalı bir sistem değildir. Bunu 9. Bölüm içinde biraz daha ele alacağız, ama temelde olup biten bundan ibarettir.

> Evren sonluysa ve var olan yasalara tâbiyse, sonuç kaçınılmaz şekilde evrensel sükûn ve ölüm olacaktır. Ama evrendeki maddenin genişliğine bir sınır düşünmek olanaksızdır; dolayısıyla bilim, bir saat gibi boşalan ve ebediyen duran tek bir sonlu mekanizmadan ziyade, sonsuz bir uzayda, potansiyel enerjinin elle tutulur harekete ve dolayısıyla ısıya dönüşümünü içeren bir eyleme, sonsuz bir ilerlemeye işaret ediyor.[15]

Burada, Lord Kelvin öngörülü bir şekilde, bu kitapta uzun uzadıya inceleyeceğimiz bu türden tartışmaların en önemli konusuna parmak basmıştı: evrenin entropisini yükseltme kapasitesi sonlu mudur, sonsuz mu? Sonluysa, o zaman evren eninde sonunda tüm yararlı enerji, yararsız enerji biçimlerinin yüksek entropisine dönüştüğünde, bir ısı ölümüne varacaktır ama entropi sınırsız şekilde yükselebilirse, en azından evrenin öyle ya da böyle ebediyen büyüyüp evrilebilme olasılığını düşünebiliriz.

Kısaca "Entropi" adını verdiği ünlü kısa öyküsünde, Thomas Pynchon karakterlerinin termodinamiğin derslerini toplumsal ortamlarına uygulamalarını sağlamıştır.

> "Bununla birlikte," diye sürdürdü Callisto, "entropide ya da kapalı bir sistemin düzensizliğinin ölçüsünde, kendi dünyasındaki kimi hadiselere uygulanabilecek uygun bir eğretileme buldu. Örneğin genç neslin Madison Bulvarına bir zamanlar kendi neslinin Wall Street'e verdiği aynı huysuzlukla tepki verdiğini gördü: Amerikan "tüketimciliğinde" de en azdan en çok olası olana, farklılaştırmadan aynılığa, düzenli bireysellikten bir tür kaosa benzer bir eğilim gördü. Kısacası, kendisini, Gibbs'in toplumsal terimlerle öngörülerini yeniden ifade ederken buldu ve kendi kültüründe fikirlerin, ısı-enerjisi gibi artık aktarılmayacağı, çünkü her noktasının nihayetinde aynı enerji niceliğine sahip olacağı bir ısı-ölümü tasavvur etti ve entelektüel hareket de, buna bağlı olarak, duracaktı."[16]

Bugüne kadar bilim insanları henüz herkesi tatmin edecek biçimde evrenin ebediyen genişleyeceğine ya da sonunda durağan bir denge durumuna yerleşeceğine karar verememiştir.

---

[15] Thompson (1862).

Pynchon (1984), 88.

NEDEN GELECEĞİ ANIMSAMAYIZ?

Yani zaman oku sadece basit mekanik süreçler hakkında değildir; bizatihi yaşamın varoluşunun gerekli bir özelliğidir. Ama aynı zamanda bilinçli bir kişi olmanın ne anlama geldiğinin derin bir özelliğinden de sorumludur: geçmişi anımsayıp, geleceği anımsamıyor olmamız olgusunun. Temel fizik yasalarına göre, geçmiş ve gelecek eşit şekilde muamele görür, ama dünyayı nasıl algıladığımıza gelince, daha farklı olamazlar. Geçmişin betimlemelerini anılar biçiminde kafamızda taşırız. Geleceğe gelince, öngörülerde bulunabiliriz, ama bu öngörüler geçmiş üzerine anılarımızın kesinliğine yaklaşamaz.

Nihayetinde, geçmiş üzerine güvenilir anılar oluşturmamızın nedeni, o zaman entropinin düşük olmasıdır. Evren gibi karmaşık bir sistemde, altta yatan bileşenlerin kendilerini "geçmiş üzerine belli bir anıyla siz ve evrenin geri kalanı" biçiminde düzenlemeleri için birçok olasılık vardır. Bütün bildiğiniz buysa –altıncı sınıf ile yedinci sınıf arasında bu yaz deniz kenarına gittiğiniz anısıyla şimdi var olduğunuz– o yaz deniz kenarına gerçekten de gittiğiniz sonucuna güvenilir bir şekilde varacak bilgiye sahip değilsiniz demektir. Doğrusu şu ki, anınızın yalnızca bir odadaki havanın kendiliğinden bir yana toplanması gibi, rastgele bir dalgalanma olması daha yüksek bir olasılıktır. Anılarınıza bir anlam verebilmek için evrenin de belli bir şekilde düzenlendiğini entropinin geçmişte daha düşük olduğunu varsaymanız gerekir.

Sokakta yürüdüğünüzü ve kaldırımda çok uzun süredir orada değilmiş gibi duran kırılmış bir yumurta gördüğünüzü düşünün. Düşük entropili geçmiş varsayımımız, çok yüksek bir olasılıkla kısa süre önce kırılmamış bir yumurta olduğunu ve birisinin bunu düşürdüğünü söylememize olanak tanıyor. Gelecek söz konusuysa, entropinin düşeceğinden kuşkulanmamız için bir neden bulunmadığına göre, yumurtanın geleceği için söyleyebileceğimiz çok bir şey yok – çok fazla olasılık var. Belki orada kalıp küflenecek, belki birisi bunu temizleyecek ya da bir köpek gelip yiyecek. (Kendiliğinden toparlanıp sağlam bir yumurtaya dönüşmesi pek olası görünmese de doğrusu bu da olasılıklardan biridir.) Kaldırımdaki yumurta beyninizdeki bir anıya benzer: önceki bir olayın kaydıdır, ama yalnızca geçmiş için düşük-entropili bir sınır koşulu varsayarsak.

Aynı zamanda geçmiş ve geleceği neden ile sonuç arasındaki ilişki üzerinden de ayırt edebiliriz. Yani neden önce gelir (zamanda daha evvel), sonra da sonuç. Bu nedenle, Beyaz Kraliçe bize o kadar abes görünür: nasıl olur da parmağını yaralamadan *önce* haykırır?* Yine kabahatli olan entropidir. Havuzun suyunu sıçratan atlayıcıyı düşünün; sıçrama hep atlamadan sonra gelir. Ama fiziğin mikroskobik yasalarına göre, sudaki (ve havuzun çevresindeki, sıçramanın sesinin içinden geçtiği havadaki) tüm molekülleri, tam da "tersten sıçrayacak" ve atlayıcıyı sudan fırlatacak şekilde düzenleyebiliriz. Bunun için bu atomlardan her birinin konumu ve hızının tasavvur edilemeyecek kadar hassas bir şekilde seçilmesi gerekir – rastgele sıçramalı bir kurulum seçerseniz, işin içindeki mikroskobik kuvvetlerin atlayıcıyı dışarı atacak şekilde doğru ayarlanmasını sağlamak için bir şansımız neredeyse hiç yoktur.

Diğer bir deyişle, "sonuç" ile "neden" arasında güttüğümüz ayrım kısmen, "sonuçların" genellikle entropide bir artış içermesidir. İki bilardo topu çarpışıp kendi yollarında ilerlerse, entropi sabit kalır ve topların hiçbiri etkileşimin nedeni olarak gösterilmeyi hak etmez. Ama ıstaka topunu açılışta dizilmiş sabit top kümesine çarptırırsanız (ve entropide dikkat çekici bir artışa neden olursanız) siz ve ben "ıstaka topu açılışa neden oldu" deriz – ama fizik yasaları topların hepsini eşit değerlendirir.

OLASININ SANATI

Geçen bölümde blok zaman görüşü –dünyanın tüm dört boyutlu tarihi, geçmiş, bugün ve gelecek, eşit ölçüde gerçektir– ile şimdici görüşü –yalnızca halihazırdaki an gerçektir– karşılaştırmıştık. Bazen *olasıcılık* olarak da adlandırılan bir perspektif daha vardır: halihazırdaki an ve geçmiş vardır, ama gelecek (henüz) yoktur.

Geçmişin, geleceğin var olmadığı bir tarzda var olduğu fikri, bizim zamanın nasıl işlediği üzerine formal olmayan mefhumumuzla pek uyuşmaz. Geçmiş olmuştur bile gelecekse bir anlamda daha olmaya adaydır – alternatif olasılıklar tasarlayabiliriz, ama hangisinin gerçek olduğunu bilemeyiz. Daha ayrıntılı olarak, geçmişe gelince anılara ve olup bitenler üzerine kayıtlara başvurabi-

* Yazar burada *Aynanın İçinden: Alice Harikalar Ülkesinde* (Lewis Carroll) kitabına gönderme yapıyor –yn.

liriz. Kayıtlarımız değişen güvenilirlik katsayılarına sahiptir, ama geçmişin doğruluğunu geleceği düşündüğümüzde var olmayan bir şekilde belirlerler.

Şöyle düşünün: sevgiliniz, "Gelecek yılki tatil planlarımızı değiştirelim. Cancún'a gideceğimize, bir maceraya atılalım ve Rio'ya gidelim," diyor. Bu plana uyarsınız ya da uymazsınız, ama bunu seçmeniz durumunda uyacağınız stratejiyi uygulamak çok da zor değildir: uçak rezervasyonlarını değiştirirsiniz, başka bir otelde yer ayırtırsınız, vs. Ama sevgiliniz, "Geçen yıl için tatil planlarımızı değiştirelim, Paris'e gitmiş olmak yerine, bir maceraya atılmış ve Kahire'ye gitmiş olalım," demiş olsaydı, stratejiniz çok farklı olurdu – yolculuk planlarını değiştirmeyi değil, sevgilinizi doktora götürmeyi düşünürdünüz. Geçmiş gitmiştir, kitaplardadır ve onu değiştirmeye girişmemizin bir yolu yoktur. Bu yüzden geçmişle geleceği tamamen farklı konumlardan bakarak değerlendirmemiz anlamlıdır. Filozoflar olmak –dünyada var olmak– ile olagelmek –gerçekliği varoluşa taşıyan, dinamik bir değişme süreci– arasında bir ayrım yapar.

Geçmişin sabitliği ile geleceğin şekillendirilebilirliği arasındaki ayrım, bilinen fizik yasalarının hiçbir yerinde bulunmaz. Doğanın derinliklerindeki mikroskobik kurallar herhangi bir durumdan geriye olduğu kadar ileriye doğru da aynı mükemmellikte işler. Evrenin kesin durumunu ve bütün fizik yasalarını biliyorsanız, geçmiş kadar gelecek de Jean Calvin'in en çılgın kader hayallerinin de ötesinde bir kesinlikle belirlenebilir.

Bu inanışları –geçmiş kesinlikle sabittir, gelecek değişebilir ama fiziğin temel yasaları tersinir– uzlaştırmanın yolu nihayetinde entropiye dayanır. Evrendeki her parçacığın kesin durumunu biliyor olsaydık, geçmiş kadar geleceği de bilebilirdik. Ama bilmiyoruz; evrenin makroskobik karakteristikleri hakkında bir şeyler biliyoruz, artı orada burada birkaç ayrıntı. Bu bilgiyle, bazı geniş çaplı olguları öngörebiliriz (Yarın Güneş doğacak), ama bilgimiz gelecekteki belli olayların geniş yelpazesiyle uyumludur. Ama geçmişe gelince, elimizde hem evrenin halihazırdaki makroskobik durumu üzerine bilgimiz, hem de erken evrenin düşük entropi durumunda başladığı olgusu var. Bu basitçe "Geçmiş Hipotezi" olarak bilinen ek bilgi parçası, bugüne bakarak geçmişi oluşturma konusunda bize büyük bir avantaj sağlar.

Can alıcı nokta, *özgür irade*, yani geçmişe bakarak bilemeyeceğimiz şekilde seçme yaparak geleceği değiştirme yetisi mefhumunun, yalnızca geçmişin düşük entropiye, geleceğinse yüksek entropiye sahip olmasıyla mümkün olmasıdır. Fizik yasaları her ikisini de aynı açıdan değerlendiriyor olsa bile gelecek bize açık görünür, geçmişse kapalı gibidir.

Belirlenmiş bir zaman okuna sahip bir evrende yaşadığımız için, geçmişle geleceği yalnızca pratiğe dayalı bir perspektiften değil, derin ve temelden farklı şeylermiş gibi ele alırız. Geçmiş kitaplardadır, ama gelecek eylemlerimizden etkilenebilir. Kozmoloji için daha doğrudan bir önemde, "evrenin tarihini açıklamayı" "erken evrenin durumunu açıklamakla" birleştirmeye eğilimliyiz – geç evrenin durumunu kendi kendisini oluşturmaya bırakıyoruz. Geçmişle geleceği eşitsiz bir şekilde ele almamız, düşünce yapımızdan silinmesi zor olacak bir tür *zamansal şovenizmdir*. Ama bu şovenizm, birçok başkası gibi, doğanın yasalarında nihai bir doğrulamaya sahip değildir. Neyin "gerçek" olduğuna karar vermek olsun ya da erken evrenin neden düşük bir entropiye sahip olduğu, evrenin önemli özelliklerini düşünürken geçmişle geleceği eşitsiz konumlara yerleştirerek açıklamalarımıza önyargı katmak hata olur. Aradığımız açıklamalar son kertede zamansız olmalıdır.

Entropi ve zaman okuna bu genel bakıştan alınacak ana ders açıktır: zaman okunun varlığı hem fiziksel evrenin derin bir özelliği hem de gündelik yaşamımızın her yere nüfuz eden bir unsurudur. Doğrusu, modern fizik ve kozmolojide kaydedilen tüm ilerlemelere karşın, evrenin neden zamanda böyle derin bir asimetri sergilediğine dair nihai bir yanıta sahip olmamamız biraz utandırıcıdır. Her koşulda, ben utanç duyuyorum, ama her buhran bir fırsattır ve entropi üzerine düşünürken evren üzerine önemli şeyler öğrenebiliriz.

3
ZAMANIN BAŞI VE SONU

Bunun evrenle ne ilişkisi var? Sen burada, Brooklyn'desin! Brooklyn genişlemiyor!

-Alvy Singer'ın annesi, *Annie Hall*

Üniversitenizdeki kitapçınızın ders kitapları bölümünde dolaştığınızı tasavvur edin. Fizik kitaplarına yaklaşırken, termodinamik ve istatistiksel mekanik kitaplarından bazılarını karıştırıp, entropi ve zaman oku konusunda ne dediklerini görmeye karar veriyorsunuz. Bunlarda kozmoloji üzerine bir şey bulamadığınız için (şu anda okumakta olduğunuz kitap ya da en azından ilk iki bölüm ve kapak yazısı tarafından da şartlandırıldığınızdan) şaşırıyorsunuz. Büyük Patlama üzerine hiçbir şey yok, zaman oku üzerine nihai açıklamanın nasıl da gözlemlenebilir evrenimizin başlangıcının düşük entropili sınır koşullarında bulunabileceği konusunda hiçbir şey yok.

Burada bir çelişki yok, kitap yazarlarının, kozmolojinin merkezi rolünü istatistiksel mekanik öğrencilerinden gizlemeyi amaçlayan bir komploları da söz konusu değil. Çoğunlukla, istatistiksel mekanikle ilgilenen insanlar, Yerküredeki laboratuvarlardaki ya da mutfaklardaki deneysel durumlara ilgi gösterirler. Bir deney sırasında, karşımızdaki koşulları denetim altında tutabiliriz; özellikle, sistemleri entropiyi olabileceğinden daha düşük ayarlar ve ne olup bittiğine bakarız. Bunun nasıl işlediğini anlamak için kozmoloji ve evren üzerine hiçbir şey bilmeniz gerekmez.

Ama bizim hedefimiz daha yüksek. Zaman oku belli bir laboratuvar deneyinin özelliklerinden çok daha fazla bir şey; çevremizdeki tüm dünyanın bir özelliği. Geleneksel istatistiksel mekanik neden bir yumurtayı omlete dönüştürmenin kolay olup omleti yumurtaya dönüştürmenin zor olduğunu açıklayabilir. Açıklaya-

mayacağı, neden buzdolabımızı açtığımızda bir yumurtayla karşılaştığımızdır. Neden şekilsiz kaos yerine yumurtalar, piyanolar ve bilim kitapları gibi gayet düzenli nesnelerle çevrelenmişizdir?

Yanıtın bir bölümü açıktır: gündelik deneyimlerimizi dolduran nesneler kapalı sistemler değildir. Kuşkusuz yumurta rastgele seçilmiş bir atomlar kurulumu değildir; dikkatlice inşa edilmiş, bir araya getirilmesi belli bir kaynaklar kümesi ve mevcut enerjiyi gerektiren bir sistemdir, tavuğu hiç saymıyorum. Ama aynı soruyu Güneş Sistemi ya da Samanyolu galaksisi için de sorabiliriz. Her durumda elimizde, tüm pratik amaçlar açısından yalıtılmış ama yine de olabildiğinden çok daha düşük entropiye sahip sistemler vardır.

Bildiğimiz kadarıyla yanıt, Güneş Sisteminin hep kapalı bir sistem olmadığıdır; daha düşük entropiye sahip bir ön-yıldızsal buluttan evrildiğidir. Bu bulut da ondan da düşük bir entropiye sahip daha önceki bir galaksiden gelmiştir. Galaksi de daha da düşük entropiye sahip ilksel (primordiyal) plazmadan oluşmuştur. Ve bu plazma da çok daha düşük entropiye sahip olan en erken evrenden kaynaklanmaktadır.

Erken evren de Büyük Patlamadan çıkmıştır. Doğrusu, erken evrenin sahip olduğu kuruluma neden sahip olduğu üzerine pek bir şey bilmiyoruz; bu bizim bu kitapta motive eden sorulardan biridir. Mutfaklarımızda, laboratuvarlarımızda ve anılarımızda kendini gösterdiği haliyle zaman okunun nihai açıklaması can alıcı biçimde erken evrenin çok düşük entropisine bağlıdır.

Bu öykü üzerine tartışmalarla geleneksel istatistiksel mekanik ders kitaplarında genellikle karşılaşmazsınız. Görece düşük entropiyle başlayan sistemlerle ilgilendiğimizi varsayıp oradan başlarlar. Ama biz daha fazlasını istiyoruz – neden evrenimiz zamanın bir ucunda o kadar küçük bir entropiye sahipti de sonraki zaman okuna sahneyi hazırladı? Evrenin başlangıcından bugüne nasıl evrildiği konusunda bildiklerimizi düşünerek işe başlamak anlamlıdır.

GÖRÜNEBİLİR EVREN

Evrenimiz giderek birbirlerinden uzaklaşan galaksilerle dolu olarak genişliyor. Evrenin yalnızca küçük bir bölümünü doğrudan deneyimliyoruz ve büyük resmi anlamaya çalışırken benzet-

melere başvurmak da çekicidir. Bize derler ki, evren üzerine galaksileri betimlemek üzere küçük noktalar çizilmiş bir balonun yüzeyi gibidir. Ya da evren fırında şişen bir üzüm ekmeği gibidir ve her galaksi de üzüm tanelerinden biri tarafından temsil edilmektedir.

Bunlar kötü benzetmelerdir. Yalnızca galaksi gibi muhteşem bir şeyi minik, buruşuk bir üzüm tanesine benzetmek alçaltıcı olduğundan değil. Gerçek sorun, böyle bir benzetmenin yanında var olan evrene uygulanamayacak birtakım ilişkilendirmeler getiriyor olmasındadır. Örneğin bir balonun bir içi, bir dışı ve bir de içinde genişlediği daha büyük bir uzay vardır; evrende bunların hiçbiri yoktur. Üzüm ekmeğinin bir kenarı vardır, fırının içinde yer alır ve güzel kokar; evrenin durumunda benzer bir kavram yoktur.

O yüzden başka bir yoldan ilerleyelim. Etrafımızdaki evreni anlayabilmek için, gerçekte olanı düşünelim. Berrak, bulutsuz bir gecede, şehir ışıklarının uzağında dışarıda durduğunuzu hayal edin. Gökyüzüne baktığımızda ne görürüz? Bu düşünce egzersizinin amaçları uğruna, kendimize mükemmel görüş, her türden elektromanyetik ışınıma karşı sonsuz hassasiyet bahşedelim.

Şüphesiz ki yıldızları görürüz. Çıplak gözle ışık noktaları gibi görünürler, ama uzun zamandır her yıldızın iç nükleer tepkimelerin enerjisiyle parlayan muazzam plazma topları olduğunu ve bizim yıldızımızın da dört başı mamur bir yıldız olduğunu biliyoruz. Bir sorun, derinlik duyumuzun olmamasıdır – bu yıldızlardan herhangi birinin ne kadar uzakta olduğunu kestiremeyiz. Ama astronomlar yakınlardaki yıldızların uzaklıklarını belirlemek için akıllıca yöntemler geliştirmiştir ve yanıt, etkileyici uzaklıkta olduklarıdır. En yakın yıldız olan Proxima Centauri kırk trilyon kilometre uzaklıktadır; ışık hızıyla yolculuk ederseniz, oraya varmanız yaklaşık dört yıl sürer.

Yıldızlar her yönde düzgün dağılmamıştır. Farazi berrak gecemizde, Samanyolunu fark etmeden edemeyiz – gökyüzünü bir ufuktan diğerine kateden puslu beyaz bir bant. Gördüğümüz aslında birbirine çok yakın bir şekilde yığılmış bir yıldızlar topluluğudur; Antik Yunanlar da böyle olmasından kuşkulanıyordu ve Galileo da teleskobunu göklere doğrulttuğunda bu fikri doğruladı. Gerçekten de Samanyolu dev bir sarmal galaksidir – yüz milyarlarca yıldızdan oluşan, merkezinde bir kabarıklık olan bir

disk şeklinde, Güneş Sistemimizin de diskin kenarına doğru, dış mahallelerinden birinde yer aldığı bir topluluk.

Uzun zaman astronomlar "galaksi" ve "evrenin" aynı şey olduğunu sandılar. Samanyolunun bir boşluğun içindeki yalıtılmış bir yıldızlar topluluğu olduğunu tasavvur etmek kolaydır. Ama çok iyi biliniyordu ki, nokta gibi yıldızların dışında, "nebula" adı verilen puslu birtakım lekeler de vardı ve kimileri bunların kendi başlarına dev yıldız kümeleri olduğunu iddia ediyordu. Yirminci yüzyılın başlarında astronomlar arasında yaşanan ateşli tartışmalar sonrasında,[1] Edwin Hubble nihayet M33 nebulasının (Charles Messier'nin puslu gök cisimleri kataloğunda bulunan, göktaşları aranırken karıştırılmaması gereken otuz üçüncü nesne) uzaklığını ölçmeyi başardı ve bunun herhangi bir yıldızdan çok daha uzakta olduğunu buldu. M33 Triangulum Galaksisi Samanyoluyla karşılaştırılabilecek boyutlarda bir yıldız topluluğudur.

Daha fazla incelendiğinde, evrenin galaksilerle dolu olduğu görüldü. Samanyolunda yüz milyarlarca yıldız bulunduğu gibi, gözlemlenebilir evrende de yüz milyarlarca galaksi vardır. Bazı galaksiler (bizimki de dahil olmak üzere) grup ya da kümelerin üyesidir ve bunlar da büyük çaplı yapıların levhalarını ya da ipliklerini oluşturur. Ama ortalamada, galaksiler uzayda düzgün bir biçimde dağılmıştır. Baktığımız her yönde ve bizden her farklı uzaklıkta, galaksilerin sayısı kabaca eşittir. Gözlemlenebilir evren her yönde az çok aynı gözükür.

BÜYÜK VE GİDEREK DAHA BÜYÜYOR

Hubble kuşkusuz tarihteki en büyük astronomlardan biriydi, ama bununla birlikte doğru zamanda doğru yerde de bulunmuştu. Kolejden mezun olduktan sonra oradan oraya atladı, farklı sürelerde Rhodes araştırmacısı, lise öğretmeni, I. Dünya Savaşında asker ve bir süreliğine de basketbol antrenörü olarak vakit geçirdi. Ama

[1] Doğrusu fiili bir tartışma yaşandı – 1920'de Washington D.C.'deki Smithsonian Enstitüsünde astronomlar Harlow Shapley ve Heber Curtis arasında yaşanan "Büyük Tartışmada" Shapley Samanyolunun evrenin tamamını oluşturduğu görüşünü savunurken Curtis, nebulaların (en azından bazılarının, özellikle de M31 Andromeda nebulasının) bağımsız galaksiler olduğunu öne sürmüştü. Her ne kadar Shapley büyük sorunun kaybeden tarafında yer alsa da doğru bir şekilde Güneşin Samanyolunun merkezinde yer almadığını anlamıştı.

sonunda 1917'de Chicago Üniversitesinde astronomi doktorasını tamamladı ve Los Angeles dışındaki Mount Wilson gözlemevinde görev almak üzere California'ya taşındı. Oraya vardığında, dünyanın en büyüğü olarak 2,5 m'lik aynasıyla yepyeni Hooker teleskobuyla karşılaştı. Hubble başka galaksilerdeki değişken yıldızları bu 2,5 m'lik teleskopta gözlemledi ve ilk kez Samanyolundan çok daha uzak olduklarını belirledi.



Şekil 7: Edwin Hubble, evren gözlemcisi, piposunu içiyor.

Bu arada, en önde Vesto Slipher olmak üzere, başka astronomlar Doppler etkisini kullanarak spiral nebulaların hızını ölçüyorlardı.[2] Bir nesne size göre hareket ediyorsa, saldığı (ışık ya da ses gibi) her dalga, size doğru hareket ediyorsa sıkıştırılır, uzaklaşıyorsa açılır. Sesin durumunda, Doppler etkisini bize doğru yaklaşan nesnelerin sesinin incelmesi, uzaklaşanların da kalınlaşması şeklinde deneyimleriz. Benzer şekilde, bize doğru yaklaşan nesnelerin ışığının beklediğimizden daha maviye doğru (daha kısa dalga boyları), bizden uzaklaşan nesnelerin ışığının da kırmızıya doğru (daha uzun dalga boyları) kaydığını görürüz. Böylece yaklaşan bir nesnede maviye kayma, uzaklaşan bir nesnede de kırmızıya kayma olur.

Slipher'in bulduğu, nebulaların çoğunluğunun kırmızıya kaydığıydı. Eğer bu nesneler evrende rastgele hareket ediyor olsalardı, kırmızıya kayma kadar maviye kayma da gözlememiz gerekirdi, bu yüzden bu bir sürpriz oldu. Eğer nebulalar küçük toz ve gaz bulutları olsaydı, bunların bizim galaksimizden bilinmeyen bir mekanizma aracılığıyla zorla fırlatıldığı sonucuna varabilirdik. Ama Hubble'ın vardığı ve 1925'te açıklanan sonuç, bu olasılığı ortadan kaldırıyordu – görmekte olduklarımız bizimkinin bo-

[2] Bu biraz serbest yazım oldu. Daha sonra açıklayacağımız üzere, kozmolojik kırmızıya kayma, çok benzer olmalarına karşın, kavramsal olarak Doppler etkisinden farklıdır. Birinci, ışığın içinden geçtiği uzayın genişlemesinden kaynaklanır, ikinciyse kaynakların uzayda hareket ediyor olmalarından.

yutlarında galaksilerdi ve hepsi de bir şeylerden korkmuşlar gibi ya da başka bir nedenle bizden uzaklaşıyorlardı.

Hubble'ın bir sonraki keşfi her şeyi yerli yerine oturttu. 1929'da o ve çalışma arkadaşı Milton Humason galaksilerin kırmızıya kaymalarını ölçülen uzaklıklarıyla karşılaştırdı ve çarpıcı bir ilişki belirledi: galaksiler ne kadar uzaksa, o kadar hızlı uzaklaşıyorlardı. Bu artık *Hubble Yasası* olarak biliniyor: bir galaksinin görünür gerileme hızı, bize olan uzaklığıyla orantılıdır ve orantı katsayısı da *Hubble sabiti* olarak bilinir.[3]

Bu basit olgunun –şeyler ne kadar uzaksa, o kadar hızlı uzaklaşırlar– içine gizlenmiş, derin bir sonuç yatar: Biz dev bir kozmik göçün merkezinde yer almıyoruz. Çevremizde bizden uzaklaşan o kadar çok galaksiyle, bizim bir şekilde özel olduğumuz izlenimine kapılabilirsiniz. Ama kendinizi o diğer galaksilerden birindeki bir astronomun yerine koyun. O astronom bize bakarsa, şüphesiz ki samanyolunun onlardan uzaklaştığını görecektir. Ama gökyüzünde karşı yöne baktığında, yine onlardan uzaklaşan galaksiler görecektir – çünkü bizim perspektifimizden, o daha uzak galaksiler daha da hızlı hareket etmektedir. Bu içinde yaşadığımız evrenin çok derin bir özelliğidir. Her şeyin uzaklaştığı belli bir yer ya da merkezi nokta yoktur. Bütün galaksiler, diğer bütün galaksilerden uzaklaşır ve her biri de aynı davranışa tanık olur. Sanki galaksiler hareket etmiyormuş da, galaksiler sabitmiş, aralarındaki uzay genişliyormuş gibi.

Aslında modern bakış açısından, olan tam da budur. Bugünlerde uzayı maddenin içinde hareket ettiği sabit ve mutlak bir sahne olarak değil, Einstein'ın genel görelilik kuramına göre, dinamik ve canlı bir varlık olarak düşünürüz. Uzay genişliyor derken, galaksiler arasında daha fazla uzay oluşuyor demek istiyoruz. Galaksiler genişlemiyor, ne siz ne de bireysel atomlar; genişleyen bir evrende bile herhangi bir yerel kuvvet tarafından bir arada

[3] Onlarca yıl süren kahramanca çabalardan sonra, modern astronomlar sonunda bu çok önemli kozmolojik parametrenin gerçek değerini tespit edebilmişlerdir: Megaparsek başına saniyede 72 kilometre (Freedman vd, 2001). Yani bizim ile başka bir galaksi arasındaki her milyon parsek için saniyede 72 kilometrelik bir görünür gerileme hızı gözlemleriz. Karşılaştırmak için, gözlemlenebilir evrenin şimdiki büyüklüğü yaklaşın 28 milyar parsektir. Bir parsek yaklaşık 3,26 ışık yılı ya da 30 trilyon kilometredir.

tutulan her şey boyutlarını koruyor. (Siz belki şişiyorsunuz, ama kabahat evrende değil.) Herhangi bir kuvvet tarafından bir arada tutulmayan bir ışık dalgası uzayacak ve kozmolojik kırmızıya kaymaya uğrayacaktır. Ve kuşkusuz, karşılıklı kütleçekimle bağlı olmayacak kadar birbirlerinden uzak galaksiler de birbirlerinden uzaklaşacaklardır.

Bu evrenin muhteşem ve kışkırtıcı bir resmidir. Daha sonraki gözlemler en büyük ölçeklerde, evrenin bağdaşık (homojen) olduğu fikrini doğrulamıştır: her yerde az çok aynıdır. Kuşkusuz, evren daha küçük ölçeklerde "top toptur" (orada bir galaksi, hemen yanında burada uzay boşluğu), ama yeterince büyük bir uzak hacmini alırsanız, içerdiği galaksiler ve madde miktarı, hangi hacmi alırsanız alın, esas olarak aynı kalacaktır. Ve hepsi birden giderek büyümektedir; yaklaşık 14 milyar yıl sonra, uzaklardaki bütün galaksiler şimdikine göre iki kat uzakta olacaktır.

Genelde düzgün bir galaksi dağılımının içinde yer alıyoruz, aralarındaki uzaklık artıyor ve böylece her galaksi bir diğerinden uzaklaşıyor.[4] Evren genişliyorsa, neye doğru genişliyor? Hiçbir şeye. Evrenden söz ederken, onun bir şeylere doğru genişlediğinden söz etmenin gereği yoktur –bu evrendir– başka bir şeyin içinde olması gerekmez; bütün olan biten bu olabilir. Böyle düşünmeye alışık değiliz, çünkü gündelik yaşamımızda deneyimlediğimiz nesnelerin hepsi uzayın *içinde* yer alır; ama evren uzaydır ve "dışı" diye bir şeyin olması gerekmez.

Aynı şekilde, bir kenar olması da gerekmez – evren uzayda sonsuza kadar ilerliyor olabilir. Ya da aslına bakarsanız, sonlu olup, bir kürenin yüzeyi gibi, kendi üzerine toplanıyor da olabilir. Var olan gözlemlere bakarsanız, çok yüksek olasılıkla bunu hiç bilemeyeceğiz. Işığın belli bir hızı var (yılda bir ışık yılı ya da saniyede 300.000 kilometre) ve Büyük Patlamadan beri de belli bir süre geçti. Uzaya baktığımızda, zamanda geriye doğru da bakıyoruz. Büyük Patlama yaklaşık 14 milyar yıl önce gerçekleştiğine göre, evrende ne kadar uzağı görebileceğimizin mutlak bir sınırı var.[5]

---

[4] Hassasiyetle konuşursak, "yeterince uzak her galaksi..." dememiz gerekir. Yakın galaksiler, karşılıklı kütleçekimleri sayesinde çiftler ya da gruplar durumunda birleşmiş olabilirler. Böylesi gruplar, bütün bağlı sistemler gibi, evrenle birlikte genişlemez; bunların "Hubble akışından koptuğunu" söyleriz. Kabul etmek gerekir ki, bu iş biraz ince. İki dipnot öncesinde, gözlemlenebilir

Gördüğümüz, görece bağdaşık bir galaksiler bütünüdür, toplamda yaklaşık 100 milyar adet, düzenli bir şekilde birbirlerinden uzaklaşırlar. Ama gözlemleyebildiğimiz bölümün dışında, işler çok farklı olabilir.

BÜYÜK PATLAMA

Büyük Patlama lafını teklifsizce ortaya atıp duruyorum. Bu fizik lisanındaki, uzun süredir popüler sözlüğe girmiş bir sözcüktür. Ama modern kozmolojinin tüm kafa karıştırıcı veçhelerinin içinde, hiçbiri "Büyük Patlama" kadar –işin doğrusunu biliyor olmaları gereken profesyonel kozmologlar da dahil olmak üzere– yanıltıcı ya da dosdoğru yanlış ifadelerin konusu olmamıştır. Bir an durup, bildiklerimizi bilmediklerimizden ayıralım.

Evren büyük ölçeklerde pürüzsüzdür ve genişler; galaksiler arasındaki uzay büyür. Evrendeki atom sayısının sabit kaldığı kabul edilirse,[6] madde zamanla giderek daha seyrekleşir. Bu arada, protonlar daha uzun dalga boylarına ve daha düşük enerjilere doğru kırmızıya kayarlar, bu da evrenin sıcaklığının düşeceği anlamına gelir. Evrenimizin geleceği seyrelmiş, soğuk ve yalnızdır.

Şimdi filmi tersine çevirelim. Evren şimdi genişliyor ve soğuyorsa, geçmişte daha yoğun ve sıcaktı. Genel olarak konuşursak (üzerinde daha sonra konuşacağımız kara enerji gibi bazı güzellikler dışında), kütleçekim kuvveti şeyleri bir araya toplamaya ça-

---

evrenin "28 Milyar parsek" olduğunu söylemiştik. Büyük Patlamadan bu yana 14 milyar yıl geçti, bu yüzden buradan evrenin kenarına 14 milyar ışık yılı olduğunu söyleyebilirsiniz, toplam çapı bulmak için ikiyle çarpabiliriz – 28 milyar ışık yılı, yani yaklaşık 9 milyar parsek değil mi? Bir dizgi hatası mı söz konusu, yoksa nasıl uzlaştırabiliriz? Doğrusu şu ki, evrenin genişliyor olması nedeniyle uzaklıklar biraz karmaşık, özellikle de kara enerji tarafından hızlandırıldıkları için. Bugün gözlemlenebilir evrenimizdeki en uzak galaksilere olan fiziksel uzaklığımız aslında 14 milyar ışık yılından daha fazla. Hesabını yaparsanız, evrenin gözlemleyebildiğimiz bölümündeki en uzak noktanın 46 milyar ışık yılı uzakta olduğunu bulursunuz ya da 14 milyar parsek.

Parçacıkların boş uzaydan yaratılmadıkları fikri açıkça, gayet güçlü olmakla birlikte, varsayım olarak işaretlenmelidir – en azından, içinde bulunduğumuz evrende. (Daha sonra, parçacıkların hızlanan bir evrende çok ender olarak, kara deliklerin çevresindeki Hawking ışımasına benzer bir süreçte ortaya çıktığını göreceğiz.) Eski Kararlı Durum kuramı açıkça tersini varsayıyor, ama bunu işletebilmek için yeni tür fiziksel süreçleri devreye sokması gerekiyordu (ve bu hiçbir zaman gerçekten işlemedi).

lışır. Bu yüzden eğer evreni, bugünden daha yoğun bir duruma doğru geriye dışdeğerlersek (ekstrapole edersek) böyle bir dışdeğerlemenin işlemeyi sürdüreceğini bekleriz; diğer bir deyişle, herhangi bir "sapma" beklememiz için bir neden yoktur. Geçmişe doğru ilerledikçe, evren sadece daha da yoğun olacaktır. Bir süre önce, yalnızca sonlu bir süre önce, evrenin sonsuz yoğunlukta bir tekillik olduğunu tasavvur edebiliriz. İşte bu farazi tekilliğe "Büyük Patlama" diyoruz.[7]

Büyük Patlama olarak uzaydaki bir *yeri* değil, evrenin tarihindeki bir *anı* adlandırdığımıza dikkat edin. Halihazırdaki evrende bir genişlemenin merkezini tanımlayan özel bir nokta olmadığı gibi, "Büyük Patlamanın gerçekleştiği" özel bir nokta da yoktur. Genel görelilik evrenin tekillik anında sıfır hacme sıkıştırılabileceği gibi; tekillikten sonraki her an da sonsuz büyüklükte olabileceğini söyler.

O zaman, Büyük Patlama öncesinde ne oldu? İşte modern kozmolojideki tartışmaların raydan çıktığı yer de burasıdır. Şunun gibi bir şeyler okuyabilirsiniz: "Büyük Patlama öncesinde, zaman ve uzay yoktu. Evren zamanda bir anda oluşmadı, çünkü zaman da oluştu. Büyük Patlamadan önce ne olduğunu sormak, Kuzey Kutbunun kuzeyinde ne olduğunu sormakla birdir."

Bu çok derin görünür, hatta olabilir de. Ama olmayabilir de. Doğrusu, bilmiyoruz. Genel göreliliğin kuralları belirsizlikten aridir: evrende belli türden bir şeyler varsa, geçmişte bir tekillik olmuş olmalıdır. Ama bu içsel olarak tutarlı bir sonuç değildir. Bizatihi tekillik uzay zamanın eğriliğinin ve maddenin yoğunluğunun sonsuz olduğu bir an olmalıdır ve genel göreliliğin kuralları

---

[7] Dikkatli olma açısından, *Büyük Patlama* iki farklı şekilde kullanılmaktadır. Birisi şimdi tanımladığımız şekildir – evrenin başlangıcındaki, farazi sonsuz yoğunluk anı ya da en azından evrendeki, zamandaki bu ana çok çok yakın koşullar. Ama aynı zamanda "Büyük Patlama Modelinden" de söz ederiz, bu da sadece genel göreliliğin kurallarına göre sıcak, yoğun durumdan genişleyen bir evrenin genel çerçevesidir; bazen de *model* sözcüğünü düşürürüz. Yani kozmologların "Büyük Patlamanın öngörülerini sınadıklarına" dair gazete haberleri okuyabilirsiniz. Zamandaki bir anın öngörülerini sınayamazsınız; yalnızca bir modelin öngörülerini sınayabilirsiniz. Doğrusu, bu iki kavram birbirlerinden hayli bağımsızdır – kitabın daha ilerilerinde, eksiksiz bir evren kuramının, geleneksel Büyük Patlama tekilliğinin yerine daha iyi bir şey koyacağını iddia edeceğiz, ama evrenin son 14 milyar yıldaki evriminin Büyük Patlama modeli iyice yerleşmiştir ve bir yere gideceği yoktur.

düpedüz uygulanamaz haldedir. Doğru çıkarsama, genel göreliliğin bir tekillik öngördüğü değil, genel göreliliğin, evrenin, genel göreliliğin çözüldüğü bir kuruluma evrildiğini öngördüğüdür. Kuram eksiksiz olarak kabul edilemez; genel göreliliğin tekillikler öngördüğü bir şeyler olur, ama ne olduğunu bilmiyoruz.

Muhtemelen, genel görelilik doğru kütleçekim kuramı değildir, en azından aşırı erken evren bağlamında. Birçok fizikçi, en erken zamanlarda olanlara anlam verebilmek için nihayetinde, kuantum mekaniğinin çerçevesini Einstein'ın eğik uzay-zaman üzerine fikirleriyle uzlaştıran bir kuantum kütleçekim kuramının gerekli olacağından kuşkulanmaktadır. Bu yüzden, birisi size sözde Büyük Patlama anında gerçekten ne olduğunu sorarsa, verilecek tek dürüst yanıt, "Bilmiyorum," olmalıdır. Erken evrene özgü aşırı koşullarda ne olduğuna dair sorular sorabileceğimiz güvenilebilir bir kuramsal çerçeveye sahip olursak, yanıtı oluşturmaya başlayabiliriz, ama şimdilik elimizde böyle bir kuram yok.

Geleneksel göreliliğin ima eder gibi olduğu gibi, Büyük Patlama öncesinde evren var olmamış olabilir. Ya da pekâlâ benim de ileride berraklaşacak nedenlerden dolayı inandığım gibi, zaman ve uzay Büyük Patlama öncesinde var olmuş olabilir; Büyük Patlama dediğimiz şey, bir evreden diğerine bir tür geçiştir. Erken evrenin düşük entropisine bağlı olan zaman okunu anlama çabamız, sonunda bu konuyu en öne ve merkeze yerleştirecektir. "Büyük Patlama" terimini, "çok erken evrenin tarihinde, geleneksel kozmolojinin anlamlı olmaya başladığından hemen öncesindeki o an" için kullanmaya devam edeceğim, daha eksiksiz bir kuramda bu an aslında her neyse ve evrende bir tür tekillik ve sınır olsa da olmasa da.

SICAK, PÜRÜZSÜZ BAŞLANGIÇLAR

Evrenin hemen başlangıcında ne olduğunu bilmiyorsak da bunun sonrasında ne olduğuna dair muazzam miktarda bilgiye sahibiz. Evren inanılmayacak kadar sıcak, yoğun bir durumda başladı. Sonrasında, çeşitli ara safhalardan geçip, uzay genişledi ve madde seyrelip soğudu. Bir dizi gözlemsel kanıt, Büyük Patlamadan bugüne yaklaşık 14 milyar yıl geçtiğine işaret ediyor. En erken anlarda neler olduğunun ayrıntılarını bilme iddiasında buluna-

masak bile hepsi çok kısa bir sürede gerçekleşti; evrenin tarihinin büyük bölümü esrarlı başlangıcından çok sonraları gerçekleştiği için, belli bir olayın Büyük Patlamadan kaç yıl sonra olduğu konusunda konuşmanın sakıncası yoktur. Bu geniş kapsamlı resme "Büyük Patlama *modeli*" denir ve kuramsal olarak çok iyi anlaşılmasının yanında, bir şekilde esrarını koruyan farazi "Büyük Patlama *tekilliğinin*" aksine, dağ gibi gözlemsel veri tarafından da desteklenmektedir.

Erken evren üzerine elimizde resim yalnızca kuramsal dışdeğerlemeye dayanmıyor; kuramlarımızı kullanarak sınanabilir öngörülerde bulunabiliyoruz. Mesela, evren yaklaşık bir dakikalıkken, bir nükleer reaktördü, "ilksel nükleosentez" adı verilen bir süreçte, proton ve nötronları füzyonla helyum ve diğer hafif elementlere dönüştürüyordu. Bugün böylesi elementlerin bolluğunu gözlemleyebilir ve Büyük Patlama modelinin öngörüleriyle şaşırtıcı bir uyum elde edebiliriz.

Aynı zamanda kozmik ardalan ışınımı da gözlemliyoruz. Erken evren yoğun olduğu kadar sıcaktı da ve sıcak şeyler ışır. Gece görüş dürbünlerinin arkasındaki kuram, insanların (ve diğer sıcak şeylerin), uygun bir araçla tespit edilebilecek kızılaltı ışınım salıyor olmalarıdır. Bir şey ne kadar sıcaksa, saldığı ışınımda o kadar enerjilidir (kısa dalga boyu, yüksek frekans). Erken evren aşırı sıcaktı ve çok miktarda enerjili ışınım salmıştı.

Dahası, erken evren şeffaf değildi. Elektronların atom çekirdeğine bağlı kalmayıp uzayda serbestçe dolaşmalarını sağlayacak kadar sıcaktı; fotonlar sıklıkla serbest elektronlardan sekiyordu, bu yüzden (ortalıkta olsaydınız) yüzünüzün önündeki elinizi göremezdiniz. Ama sonunda sıcaklık, Büyük patlamadan yaklaşık 400.000 yıl sonra, elektronların bir çekirdeğe bağlanıp orada kalacakları kadar düştü – yeniden birleşme denilen süreç. Bu olunca, evren şeffaflaştı, böylece ışık o andan bu yana esas olarak engellenmeden yolculuk etmeye başladı. Kuşkusuz, kozmolojik genişlemeyle hâlâ kırmızıya kayıyor, böylece yeniden birleşme döneminden kalma sıcak ışınım, yaklaşın 1 cm dalga boyunda mikrodalgalara uzamış ve halihazırda 2,7 Kelvin'lik (–270,4 derece Celcius) sıcaklığa erişmiştir.

Büyük Patlama (esrarlı Büyük Patlama anından farklı olarak) modeline göre evrenin evriminin öyküsü dolayısıyla güçlü bir tah-

minde bulunur: evrenimiz her yönden gelen mikrodalga ışınımıyla dolu olmalıdır, evrenin sıcak ve yoğun olduğu zamanın kalıntısı. Bu ışınım sonunda 1965'te Holmdel, New Jersey'deki Bell Laboratuvarlarında Arno Penzias ve Robert Wilson tarafından tespit edildi. Üstelik bunu aramıyorlardı bile – radyo-astronomlardı ve kurtulamadıkları bu ardalan ışınımı onları rahatsız ediyordu. Rahatsızlıklar, 1978'de Nobel Ödülünü aldıklarında biraz duruldu.[8] Kozmolojideki Kararlı Durum (evrenin sıcaklığının zaman içinde sabit kaldığı ve sürekli yeni madde üretildiği durum) kuramının mevzilerinde geri kalanların çoğunu Büyük Patlama saflarına geçiren de mikrodalga ardalanının keşfi oldu.

EVRENİN KONTRAST DÜĞMESİNİ ÇEVİRMEK

Evren basit bir yerdir. Evet, galaksiler, susamurları ve federal hükümetler gibi karmaşık şeyler de içerir, ama yerel gariplikleri ortalamaya sokarsak, çok büyük çapta evren her yerde hemen hemen aynı görünür. Bu hiçbir yerde, kozmik mikrodalga ışınımında olduğu kadar bariz değildir. Gökte hangi yöne bakarsak bakalım, tıpkı sabit bir sıcaklıkta huzur içinde parıldayan bir nesneye benzer mikrodalga ardalan ışınımı – buna fizikçiler "kara cisim" ışınımı derler. Ama sıcaklık gökyüzünde bir noktadan diğerine çok az farklıdır; tipik olarak, bir yöndeki sıcaklık, başka bir yöndekinden

[8] Mikrodalga ardalanının karmakarışık bir tarihi vardır. George Gamow, Ralph Alpher ve Robert Herman 1940'ların sonlarında ve 1950'lerin başlarında Büyük Patlamanın kalıntısı mikrodalga ışınımını açıkça öngören bir dizi makale yazmışlardı, ama çalışmaları sonrasında büyük ölçüde unutulmuştu. 1960'larda, Princeton'da Robert Dicke ve Sovyetler Birliğinde A. G. Doroşkeviç ve İgor Novikov birbirlerinden bağımsız olarak bu ışınımın varlığını ve tespit edilebilirliğini tanımışlardı. Dicke bir anten inşa edip ardalan mikrodalga ışınımını kendileri belirlemek üzere yetenekli genç kozmologlardan (bunlara sonradan alanın önderlerinden olan David Wilkinson ve P. J. E. Peebles da dahildi) oluşan bir grup kuracak kadar ileri gitmişti. Birkaç kilometre ötede, onların yaptıklarından tamamen habersiz çalışan Penzias ve Wilson tarafından atlatılmışlardı. Gamow 1968'de vefat etti, ama Alpher'le Herman'ın öngörüleri için Nobel Ödülünü neden hiç kazanmadıkları bir sır olarak kalmıştır. Öyküyü kendi açılarından *Genesis of the Big Bang* adlı bir kitapta anlattılar (Alpher ve Herman, 2001). 2006'da John Mather ve George Smoot, NASA'nın Kozmik Ardalan Kâşifi (Cosmic Background Explorer, COBE) uydusunu kullanarak kara cisim tayfı ve mikrodalga ardalanındaki sıcaklık anizotropilerini (yönserlik) ölçümlerinden dolayı Nobel Ödülü kazandılar.

100.000'de 1 fark eder. Bu dalgalanmalara anizotropi (yönserlik) denir – her yöndeki ardalan ışınımındaki aslında kusursuz düzgünlükteki sıcaklıklardan çok küçük sapmalar.



Şekil 8: NASA'nın Wilkinson Mikrodalga Anizotropi Sondasının ölçtüğü kozmik mikrodalga ardalanındaki sıcaklık anizotropileri. Koyu bölgeler ortalamadan çok az daha soğuktur, açık bölgeler de ortalamadan çok az daha sıcak. Berraklık amacıyla farklılıklar büyük ölçekli olarak abartılmıştır.

Sıcaklıktaki bu değişiklikler erken evrende bir yerden diğerine madde yoğunluklarındaki hafif farklılıkları yansıtır. Erken evrenin pürüzsüz olduğunu söylemek yalnızca basitleştirici bir kabul olmaz; veriler tarafından kuvvetle desteklenen sınanabilir bir varsayımdır da. Çok büyük ölçeklerde, evren bugün de hâlâ pürüzsüzdür. Ama ölçeklerin çok büyük olması gerekir – 300 milyon ışık yılı düzeyinde. Bir galaksinin boyutları, Güneş Sistemi ya da mutfağınız gibi daha küçük ölçeklerde evren hayli engebelidir. Hep böyle değildi; erken zamanlarda, küçük ölçeklerde bile çok pürüzsüzdü. Oradan buraya nasıl geldik?

Yanıt, evrenin kontrast düğmesini çeviren kütleçekimde yatar. Ortalamadan çok az daha fazla madde olan bir bölgede, şeyleri bir araya toplayan bir kütleçekim kuvveti vardır; çok az daha az yoğun olan bölgelerde, madde dışarı, daha yoğun bölgelere akma eğilimindedir. Bu süreçle –evrenin yapısının evrimi– mikrodalga ardalan anizotropilerinde ortaya çıkan minik ilksel dalgalanmalar büyüyerek, bugün gördüğümüz galaksileri ve yapıları oluşturur.

Büyük ölçüde bugün içinde yaşadığımıza benzer ama genişleyeceğine daralan bir evrende yaşadığımızı hayal edin. Evren daraldıkça galaksilerin pürüzsüzleşip bizim gerçek (genişleyen)

evrenimizin geçmişindeki bağdaşık plazmayı yaratacağını mı bekleriz? Hiç de değil. Evren daralırken bile kontrast düğmesinin çevrilmeyi sürdürmesini bekleriz – kara delikler ve diğer yüksek kütleli nesneler çevrelerindeki bölgelerden madde toplayacaktır. Yapının büyümesi tersinmez bir süreçtir, evren genişlese de daralsa da geleceğe doğru doğal olarak oluşur: Entropide bir yükselmeyi temsil eder. Bu yüzden, erken evrenin görece pürüzsüzlüğü bu erken dönemlerin çok düşük entropisini yansıtır.

EVREN KARARLI DEĞİLDİR

Büyük Patlama modeli zaman içinde genişleyen aşağı-yukarı tekbiçimli bir evrene inanırsanız, hayli doğal görünür. Saati geri çevirin ve sıcak, yoğun bir başlangıç elde edersiniz. Aslında, temel çerçeve 1920'lerin sonlarında, Belçikalı Katolik bir papaz olup, Cambridge ve Harvard'da okumasının ardından sonunda MIT'den doktorasını alan George Lemaître tarafından çizilmiştir.[9] (Evrenin başlangıcını "Kadim Atom" olarak adlandıran Lemaître bariz kışkırtıcılığına karşın bu kozmolojik modelden ilahi sonuçlar çıkartmaktan kaçınmıştır.)

Ama Büyük Patlama modelinde, artık bize şaşırtıcı gelmeyecek olan bir asimetri mevcuttur: zaman ve uzay arasındaki farklılık. Maddenin büyük ölçeklerde pürüzsüz olduğu fikri "Kozmolojik İlkeye" yükseltilebilir. Evrende özel yer diye bir şey yoktur. Ama evrende özel bir *zaman*ın olduğu açıktır: Büyük Patlama anı.

Bazı yüzyıl ortası kozmologları uzaydaki pürüzsüzlük ile zamandaki çeşitlilik arasındaki bu çarpıcı ayrımın Büyük Patlama modelinin ciddi bir eksikliği olduğunu düşünüyorlardı, bu yüzden bir alternatif oluşturmaya koyuldular. 1948'de, önde gelen üç astrofizikçi –Herman Bondi, Thomas Gold ve Fred Hoyle– evrenin Kararlı Durum modelini önerdiler.[10] Bu modeli "Mükemmel Kozmolojik İlkeye" dayandırdılar – evrende özel bir yer ve özel bir zaman yoktur. Özellikle, evrenin geçmişte şimdi olduğundan daha sıcak ya da yoğun olmadığını önerdiler.

Kararlı Durum kuramının öncüleri (daha sonraki takipçilerinden kimilerinin aksine) çatlak değillerdi. Hubble'ın evrenin geniş-

[9] Öykünün tamamı Farrell (2006) tarafından anlatılmıştır.

[10] Bondi ve Gold (1948); Hoyle (1948).

lemesini keşfettiğini anlıyorlardı ve verilere saygı duyuyorlardı. Peki, evren seyrekleşip soğumadan, nasıl genişliyor olabilirdi? Onların önerdiği yanıt, galaksiler arasında sürekli madde yaratıldığı ve evrenin genişlemesinden dolayı oluşan seyrelmeyi hassas bir şekilde dengelediğiydi. (Çok bir şey yapmanıza gerek yoktur: her bir milyar yılda, metreküp başına bir hidrojen atomu. Oturma odanızın dolmaya başlaması gibi bir şey olmayacaktır.) Maddenin yaratılması kendiliğinden olmayacaktır; Hoyle yeni bir alan türü, C-alanını icat etti, bunun işi halledeceğini umuyordu, ama bu fikir fizikçiler arasında pek tutulmadı.

Bizim isteksiz modern perspektifimizden bakıldığında, Kararlı Durum hiç de dayanağı olmayan kimi felsefi ön kabullerin üzerine bina edilmiş bir sürü üstyapı gibi görünür. Ama birçok büyük kuram, verilerin soğuk gerçeklikleriyle karşılaşmadan önce, öyle yola çıkmıştır; Einstein kuşkusuz genel göreliliğin inşası sırasında kendi felsefi tercihlerine yaslanmıştı. Ama göreliliğin tersine, sonunda veriler Kararlı Durum modelinin karşısına dikildiğinde, sonuç pek de güzel olmadı.[11] Evrenin sıcaklığının sabit kaldığı bir modelden en son bekleyeceğiniz, sıcak bir başlangıca işaret eden kalıntı ardalan ışınımıdır. Penzias ve Wilson'ın mikrodalga ardalanı keşfetmesinin ardından, Kararlı Durum kuramına destek çöktü, ama yine de bugün, verinin en doğrudan yorumundan kaçınabilmek için çok yaratıcı yollar icat eden küçük bir gerçek inanan kadrosu mevcuttur.

Yine de Kararlı Durum modeli üzerine düşünmek, Büyük Patlama modelindeki zamanın akıl karıştırıcı doğasını görünür kılar. Kararlı Durum kozmolojisinde, görmezden gelinemeyecek bir zaman oku yine de vardı: Entropi sınırsız olarak, aynı yönde, ebediyen yükseliyordu. Çok meşru bir anlamda, evrenin düşük entropili başlangıç koşullarını açıklama sorunu Kararlı Durum evreninde *sonsuz kötülükteydi;* bu koşullar her neyse, geçmişte sonsuz uzaklıktaydılar ve bugün sonlu boyutlarda herhangi bir sistemin entropisi sonsuz küçüklükte olacaktı. Kozmologların erken evrenin düşük entropisini açıklama gereği duymaları durumunda, bu biçimdeki düşüncelerin Kararlı Durum modelinin en baştan altını oyacağını tasavvur edebilirsiniz.

[11] Örneğin *bkz.* Wright (2008).

Büyük Patlama resminde, işler o kadar da umutsuz görünmez. Erken dönem evrenin neden düşük entropiye sahip olduğunu bilmiyoruz, ama en azından erken evrenin ne zaman olduğunu biliyoruz: 14 milyar yıl önceydi ve entropisi de küçüktü ama kesinlikle sıfır değildi. Kararlı Durum modelinin aksine, Büyük Patlama bağlamında en azından problemin nerede (daha doğrusu, ne zaman) olduğuna parmak basabilirsiniz. Bunun gerçekten bir ilerleme olup olmadığına, kozmolojiyi daha kapsamlı bir çerçeve içinde anlayana kadar karar veremeyiz.

AMA HIZLANIYOR

Son 14 milyar yılda evrenin evrimi hakkında birçok şey biliyoruz. Peki gelecekte ne olacak?

Şu anda evren genişliyor, giderek daha soğuk ve daha seyrek bir duruma evriliyor. Yıllarca, kozmolojinin büyük sorusu şuydu: "Genişleme ebediyen devam mı edecek yoksa evren sonunda azami boya erişip zamanın sonundaki bir Büyük Ezilmeye doğru daralmaya mı başlayacak?" Bu iki seçeneğin görece üstünlüklerini tartışmak genel göreliliğin ilk günlerinden beri kozmologlar arasındaki en gözde salon oyunu olmuştur. Einstein şahsen uzay ve zamanda sonlu bir evrenden yanaydı ve sonunda bir yeniden çöküş fikrini tercih ediyordu. Tersine, Lemaître evrenin ebediyen soğuyup genişleyeceği fikrine yatkındı: ateş değil, buz.

Soruna deneysel bir yanıt sağlayacak ölçümleri gerçekleştirmenin daha da zor olduğu görüldü. Genel görelilik açık bir öngörüde bulunur gibiydi: evren genişledikçe, galaksiler arası kütleçekim kuvveti hepsini bir araya çekecek ve genişlemeyi yavaşlatacaktı. Soru basitçe şuydu: Evrende çökmeyi sağlayabilecek kadar madde var mı, yoksa daha da yavaş bir şekilde ama ebediyete kadar genişlemeyi sürdürecek mi? Uzun süre bu yanıtlaması zor bir soru oldu, çünkü gözlemler, evrenin genişlemesini geri döndürmeye yetmeye yakın miktarda madde bulunduğu, ama yetecek kadar olmadığı yolundaydı.

Yanıtı sağlayacak aşamaya 1998'de, tamamen farklı bir yöntemle ulaşıldı. Evrendeki toplam madde kütlesini hesaplayıp kuramla karşılaştırarak sonunda evrenin genişlemesini tersine çevirecek kadar olup olmadığını belirlemektense, dışarı dönülüp

genişlemenin yavaşlama oranı doğrudan ölçülebilirdi. Temelde yapılması gereken, Hubble'ın yıllar önce yaptığını tekrarlamaktı –galaksilerin hem uzaklığını hem de görünen hızlarını ölçmek ve aralarındaki ilişkiye bakmak– ama çok daha yüksek hassasiyetlerle ve çok daha büyük uzaklıklarda. Sonunda kullanılan teknik, 1a Türü süpernovaları, yalnızca çok parlak (dolayısıyla kozmolojik uzaklıklarda bile görünebilir) olmakla kalmayıp her olayda aynı parlaklığa sahip (böylece görünen parlaklık süpernovanın uzaklığını belirlemekte kullanılabilecekti) patlayan yıldızları aramaktı.[12]

Bu ağır işi iki takım üstlendi: biri Lawrence Berkeley Ulusal Laboratuvarından Saul Perlmutter'in önderliğinde, diğeri de Avustralya'daki Mount Stromlo Gözlemevinden Brian Schmidt önderliğinde olanlar. Perlmutter'in, kozmoloji davasına dönmüş parçacık fizikçileri de içeren grubu işe daha önce başladı ve önemli güçte bir kuşkuculuğun karşısında süpernova tekniğini savundu. Schmidt'in süpernova astronomisi konusunda birkaç uzmanın da dahil olduğu grubu daha sonra başladı ama onlara yetişti. Takımlar genelde dostça olup ara ara hiç de öyle olmayan bir rekabet sürdürdüler ama her ikisi de can alıcı katkılarda bulundular ve nihai keşifte hakkettikleri gibi pay sahibi oldular.

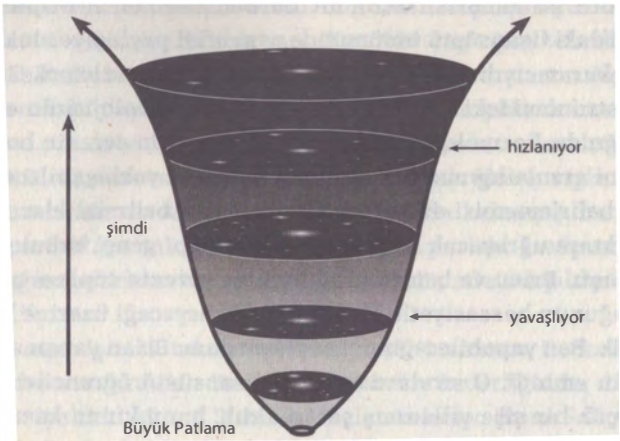
---

[12] Açıktır ki, bu uzun bir öyküyü fazlasıyla kısa tutmak olur. 1a Türü süpernovaların beyaz cüce yıldızların felaketle sonuçlanan kütleçekimsel çöküşünün sonucu olduğuna inanılıyor. Bir beyaz cüce nükleer yakıtının tümünü kullanmış ve elektronların da bir hacminin olması nedeniyle sükûnetle yerinde oturan bir yıldızdır. Ama bazı beyaz cücelerin refakatçi yıldızları vardır ve bundan madde yavaşça beyaz cüceye doğru akar. Sonunda beyaz cüce bir sınır değere ulaşır –Subrahmanyan Chandrasekhar'dan esinlenilerek Chandrasekhar Sınırı olarak adlandırılmıştır– burada, elektronlardan kaynaklanan dışarı doğru basınç kütleçekimsel çekimle başa çıkamaz ve yıldız çökerek bir nötron yıldızına dönüşür ve dış tabakalarını bir süpernova şeklinde atar. Chandrasekhar Sınırı evrendeki her beyaz cüce için aşağı-yukarı aynı olduğundan, bunun sonucundaki patlama da bütün 1a Türü süpernovalarda yaklaşık aynı olur. (Başka türden süpernovalar da vardır ama bunlar beyaz cüceler içermez.) Ama astronomlar daha parlak süpernovaların tepe değerinden sonra parlaklıklarının azalmasının daha uzun olduğu deneysel olgusundan hareketle, parlaklık farklarını nasıl telafi edeceklerini öğrenmişlerdir. Astronomların süpernovaları nasıl aradıklarının ve sonunda evrenin ivmesini nasıl hesapladıklarının öyküsü için, ***bkz.*** Goldsmith (2000), Kirshner (2004) ve Gates (2009); ilk makaleler de şunlardır: Riess vd (1998) ve Perlmutter vd (1999).

Tesadüf şu ki, Brian Schmidt ile ben 1990'ların başlarında Harvard'daki lisansüstü bölümünde aynı ofisi paylaşıyorduk. Ben idealist kuramcıydım o da ayaklarını yere basan gözlemci. O günlerde, astronomideki büyük çaplı gözlemler teknolojisinin emekleme çağında, kozmolojik parametreleri ölçmenin evrenin boyunu ve şeklini arzuladığımız hassasiyetin yakınına yaklaşabilecek bir şekilde belirlememizi engelleyecek muazzam belirsizlikler nedeniyle sekteye uğrayacak beyhude bir iş olduğu genel kabul gören bir inanıştı. Brian ve ben yirmi yıl içinde evrenin toplam madde yoğunluğunun hassasiyetle ölçülüp ölçülemeyeceği üzerine bahse girmiştik. Ben yapabileceğimizi söylüyordum; Brian yapamayacağımızdan emindi. O sıralarda yoksul lisansüstü öğrencileriydik, ama küçük bir şişe yıllanmış şarap aldık, bunu kimin kazandığı belli olana kadar yirmi yıl saklayacaktık. Her ikimiz açısından da sevindirici olarak, yanıtı bu kadar uzun süre beklemek zorunda kalmadık; iddiayı ben kazandım, ama büyük ölçüde Brian'ın çalışmaları sonucunda. 2005 yılında, Harvard'daki Quincy House'un çatısında şişeyi bölüştük.

Yanıt da şöyle: Evren hiç de yavaşlamıyor; aslında hızlanıyor! Bir galaksinin görünen uzaklaşma hızını ölçerseniz ve (farazi olarak) bir milyar yıl sonra gelip yeniden ölçerseniz, hızın şimdi daha yüksek olduğunu görürsünüz.[13] Bunu, genel göreliliğin, evrenin yavaşladığı yolundaki öngörüsüyle nasıl uzlaştırabiliriz? Genel görelilikteki benzer birçok öngörüde olduğu gibi, saklı kabuller vardır: bu durumda, evrendeki birincil enerji kaynağının madde olduğu kabul edilmiştir.

[13] Açıklanması gereken ince bir nokta daha. Evrenin genişleme hızı, uzaklığı kırmızıya kaymayla ilişkilendiren Hubble sabitiyle ölçülür. Bu aslında bir "sabit" değildir; erken evrende genişleme çok daha hızlıydı ve Hubble "parametresi" olarak adlandırabileceğimiz şey şimdiki Hubble sabitinden çok daha yüksekti. *Evren hızlanıyor* cümlesinin "Hubble parametresi artıyor" anlamına geleceğini bekliyor olabiliriz, ama bu doğru değildir – yalnızca "çok hızlı azalmıyor" anlamına gelir. "Hızlanma" herhangi bir galaksinin görünen hızının zaman içindeki artışına atıftır. Ama bu hız Hubble parametresi çarpı uzaklığa eşittir ve uzaklık da evren genişledikçe artar. Bu yüzden, hızlanan bir evren mutlaka Hubble parametresinin arttığı bir evren demek değildir, yalnızca Hubble parametresinin belli bir galaksinin uzaklığıyla çarpımının arttığı bir evrendir; evren genişleyip seyreldikçe daha da yavaşça azalır ve sonunda bütün madde yok olup kozmolojik sabit dışında bir şey kalmayınca, değişmez bir sabite yaklaşır.



Şekil 9: Hızlanan evren.

Bir kozmolog için, madde "ışık hızından çok daha yavaş hareket eden parçacık derlemesi" deyiminin kısaltmasıdır. (Parçacıklar ışık hızında ya da buna yakın hareket ediyorsa, bildiğimiz anlamıyla elektromanyetik ışınım olsun olmasın, kozmologlar bunları "ışınım" olarak adlandırır.) Einstein uzun zaman önce bize parçacıkların, hareket etmiyor olsalar bile enerjilerinin olduğunu öğretmişti: $E=mc^2$, tamamen hareketsiz kütleli bir parçacığın enerjisinin, kütlesi ile ışık hızının karesinin çarpımına eşit olduğu anlamına gelir. Şu andaki amacımız açısından, maddenin can alıcı veçhesi, evren genişledikçe seyrelmesidir.[14] Genel göreliliğin

[14] Günümüz evreninin evrimi açısından önemli iki enerji biçimini ayırt etmeye dikkat ediyoruz: yavaşça hareket eden parçacıklardan oluşan ve evren genişledikçe seyrelen "madde" ve hiç seyrelmeyen, sabit bir enerji yoğunluğunu koruyan esrarengiz bir şey olan "kara enerji." Ama madde de farklı biçimlerde görülür: burada, Yerküredeki deneylerde keşfettiğimiz her türden parçacığı içeren "sıradan madde" ve şimdiye kadar doğrudan gördüğümüz hiçbir şey olması mümkün olmayan başka türden bir parçacık olan "kara madde." Sıradan maddenin kütlesi (dolayısıyla enerjisi) büyük ölçüde atom çekirdeği –protonlar ve nötronlar– biçimindedir, ama elektronlar da katkıda bulunur. Yani sıradan madde sizi, beni, Yerküreyi, Güneşi, yıldızları ve uzaydaki bütün gazları, tozları ve kayaları oluşturur. Bunların ne kadar olduğunu biliyoruz ve galaksiler ile kümelerde gözlemlenen kütleçekim alanları için bunlar yeterli değildir. Bu yüzden kara madde olması gerekir ve buna aday olarak bilinen tüm parçacıkları saf dışı bıraktık; kuramcılar etkileyici bir olasılıklar listesi oluşturmuştur ki buna "aksionlar" "nötralinolar" ve "Kaluza-Klein par-

öngördüğü, enerji seyreldikçe, genişlemenin yavaşlayacağıdır. Bu doğru değilse –eğer enerji yoğunluğu, yani uzaydaki her santimetre küpte ya da ışık yılı küpteki enerji miktarı yaklaşık sabit kalıyorsa– bu enerji uzayın genişlemesi için sürekli bir dürtü sağlıyor ve evren de hızlanıyor demektir.

Kuşkusuz, genel görelilik kozmolojik çapta doğru kütleçekim kuramı olmayabilir ve bu da fizikçilerin gayet ciddiye aldıkları bir olasılıktır. Ama genel göreliliğin doğru olma olasılığı daha yüksek gözüküyor ve gözlemler de evrendeki enerjinin çoğunluğunun "madde" biçiminde değil, uzay genişlese bir ortada kalan inatla dayanan bir şeylerden oluştuğunu göstermektedir. Bu esrarengiz şeye "kara enerji" adını verdik ve kara enerjinin doğası kozmolojide hem kuramcılar hem de gözlemciler arasında çok gözde bir araştırma konusu oldu.

Kara enerji üzerine pek bir şey bilmiyoruz, ama çok can alıcı iki şey biliyoruz: bütün uzayda hemen hemen sabit (bir yerden diğerine aynı enerji var) ve bununla birlikte, zaman içinde de yoğunluğu sabit (farklı zamanlarda santimetreküp başına aynı miktar enerji). Bu yüzden, en basit kara enerji modeli tüm uzay ve zamanda *mutlak sabit* enerji yoğunluğuna sahip bir modeldir. Ve bu da aslında eski bir fikirdir, Einstein'a kadar gider: bunu "kozmolojik sabit" olarak adlandırmıştı ve bu günlerde de genellikle "vakum enerjisi" diyoruz. (Kimileri sizi vakum enerjisi ile kozmolojik sabit arasında bazı farklılıklar olduğuna ikna etmeye çalışacaktır – inanmayın. Tek farkı, denklemin hangi yanına koyduğunuzdur ve bu da fark etmez.)

İleri sürdüğümüz, uzayın her santimetreküpünün –galaksiler arasındaki ıssız soğuklarda, Güneşin merkezinde ya da suratımızın karşısında– bu küçük küpte fiilen var olan parçacık ya da fotonlardan gelenlerin üzerinde ve ötesinde belli bir miktar enerji bulunduğudur. Buna "vakum enerjisi" denir, çünkü vakumda, kusursuz boşluktaki uzayda bile mevcuttur – bizatihi uzay-zamanın

---

çacıkları" dahildir. Hepsi birlikte sıradan madde evrendeki enerjinin %4'ünü oluşturur, kara madde %22'sini, kara enerji de %74'ünü. Kara maddeyi yaratmak ya da doğrudan belirlemek modern deneysel fiziğin en önemli hedeflerinden biri olmuştur. Daha fazla ayrıntı için, *bkz.* Hooper (2007), Carroll (2007) veya Gates (2009).

dokusuna içkin asgari miktarda enerji.[15] Onu hissedemezsiniz, göremezsiniz, onunla hiçbir şey yapamazsınız, ama oradadır. Bunu biliyoruz, çünkü evrene can alıcı bir etkisi vardır, uzaklardaki galaksilere, bizden uzaklaşmalarını sağlayan hafif bir dokunuşta bulunur.

Sıradan maddenin neden olduğu kütleçekimin tersine, vakum enerjisinin etkisi, şeyleri yaklaştıracağına, uzaklaştırma yönündedir. Einstein 1917'de kozmolojik sabiti ilk önerdiğinde, dürtüsü durağan, genişleyip daralmayan bir evreni açıklamaktı. Bu yanlış yönlenmiş bir felsefi duruş değildi – o günlerin astronomisine göre en doğru anlayıştı; Hubble evrenin genişlediğini 1929'a kadar bulamayacaktı. Bu yüzden Einstein galaksiler arasındaki kütleçekim kuvveti ile kozmolojik sabitin itmesi arasında nazik bir denge tasavvur etti. Hubble'ın keşfini öğrendiğinde, kozmolojik sabiti ortaya attığına pişman oldu – çekiciliğine direnmiş olsaydı, keşfedilmeden önce evrenin genişlemesini öngörebilirdi.

VAKUM ENERJİSİNİN ESRARI

Kuramsal fizikte, bulunmuş bir kavramı yok etmek kolay olmaz. Kozmolojik sabit vakum enerjisi fikriyle aynı şeydir. Doğru soru, "vakum enerjisi geçerli bir kavram mıdır?" olmaz – "vakum enerjisinin değerinin ne olmasını bekleriz?" olur.

Modern kuantum mekaniği vakumun sıkıcı bir yer olmadığını söyler; *sanal parçacıklarla* capcanlıdır. Kuantum mekaniğinin can alıcı bir sonucu, Werner Heisenberg'in belirsizlik ilkesidir: herhangi bir sistemin gözlemlenebilir özelliklerini kusursuz bir kesinlikle tek bir duruma indirgemek mümkün değildir ve boş uzayın durumu da buna dahildir. Bu yüzden, boş uzaya yeterin-

[15] Peki kara enerjide ne kadar enerji var? Yaklaşık bir santimetreküpte bir kalori. Gıdalarda bulunan enerjiyi ölçtüğümüz kalorinin aslında kilokalori (1000 standart kalori) olduğuna dikkat edin. Bu nedenle, Michigan Gölündeki tüm santimetreküpleri alırsak, toplam kara enerjileri kabaca bir BigMac içindeki besleyici enerjiye eşit olur. Başka bir şekilde bakılırsa, Yerküredeki bütün santimetreküplerdeki tüm kara enerjiyi elektriğe dönüştürürsek, ortalama bir Amerikalının kabaca bir yıllık elektrik kullanımına eşit olur. Önemli olan şu ki, bir santimetreküpte çok kara enerji yoktur – bütün evrene çok seyrek bir şekilde yayılmıştır. Kuşkusuz, kara enerjiyi yararlı enerjiye dönüştüremeyiz – kara enerji tamamen yararsızdır. (Neden mi? Çünkü yüksek entropili durumdadır.)

ce yakından bakarsak, parçacıkların, bizatihi vakumun kuantum dalgalanmalarını temsil edecek şekilde, yaratılıp yok olduklarını görürüz. Bu sanal parçacıklar özellikle esrarengiz ya da farazi değildir – kesinlikle oradadırlar ve parçacık fiziği üzerinde birçok kez gözlemlenmiş olan ölçülebilir etkileri vardır.

Sanal parçacıklar enerji taşırlar ve bu enerji kozmolojik sabite katkıda bulunur. Tüm böylesi parçacıkların etkisini, kozmolojik sabitin ne kadar olması gerektiğinin bir tahminini oluşturmak üzere bir araya getirebiliriz. Ama parçacıkların etkilerini gelişigüzel yüksek enerjilerle birleştirmek doğru olmaz. Alışılmış parçacık fiziği anlayışımızın çok yüksek enerjili olaylar için uygun olduğunu sanmıyoruz – bir aşamada, genel görelilik ile kuantum mekaniğinin evliliğinden oluşan ve şu anda hâlâ eksik bir kuram olan kuantum kütleçekimi de hesaba katmamız gerekir.

Bu yüzden, henüz elimizde olmayan doğru kuantum kütleçekim kuramına başvurmaktansa, sanal parçacıkların vakum enerjisine katkısını, altında kuantum kütleçekimin önemli olduğu enerjilerde inceleyebiliriz. Bu, adını kuantum kuramının öncülerinden biri olan Alman fizikçi Max Planck'tan alan ve değeri 2 milyar joule (konvansiyonel bir enerji birimi) olan *Planck enerjisidir*.[16] Sıfırdan Planck enerjisine kadar enerji değerleri olan sanal parçacıkların vakum enerjisine katkısını toplayıp, nefeslerimizi tutup fiilen gözlemlediklerimizle karşılaştırabiliriz.

Sonuç kesin bir fiyaskodur. Vakum enerjisinin ne olması gerektiği yolundaki basit tahminimiz santimetreküpte 10^{105} joule olur. Bu çok fazla vakum enerjisidir. Fiilen gözlemlemekte olduğumuz, santimetreküpte 10^{-15} joule'dür. Yani tahminimiz deneysel değerin 10^{120} katıdır: 1 ve yanında 120 sıfır. Bu deneysel hataya atfedile-

[16] Planck aslında kuantum kütleçekim çalışmıyordu. 1899'da kara cisim ışınımının kimi gizlerini çözmeye çalışırken doğanın, şimdi "Planck sabiti" h olarak bilinen yeni bir temel sabitinin gerekliliğine tosladı. Bu yeni niceliği alıp, ışık hızı c ve Newton'ın kütleçekim sabiti G ile uygun oranlarda çarpıp bölerek, Planck şimdi kuantum kütleçekimin ayırt edici özelliği olduğunu düşündüğümüz bir temel birimler sistemi icat etti: Planck enerjisinin yanında, Planck uzunluğu L_p=1,6x10^{-35} metre, Planck zamanı t_p=5,4x10^{-44} saniye ve Planck kütlesi M_p=2,2x10^{-8} kilogram. İlginçtir, Planck'ın ilk düşüncesi bu niceliklerin evrensel doğasının –insanların konvansiyonu yerine fiziğe dayanan– günün birinde dünya dışı varlıklarla iletişime geçmemize yardımcı olacağı yolundaydı.

meyecek bir farktır. Bu tüm bilim dallarında kuramsal beklentiler ile deneysel gerçek arasındaki en büyük fark olarak adlandırılabilir. Karşılaştırma açısından, gözlemlenebilir evrendeki toplam parçacık sayısı yaklaşık 10^{88} civarındadır; Yerkürenin bütün kumsallarındaki kum tanesi sayısı da yalnızca 10^{20} civarındadır.

Vakum enerjisinin olması gerektiğinden çok daha düşük olması ciddi bir sorundur: "kozmolojik sabit sorunu." Ama bir sorun daha vardır: "çakışma sorunu." Vakum enerjisinin, evren genişledikçe sabit bir yoğunluğu (santimetreküp başına enerji miktarını) koruduğunu, madde yoğunluğununsa seyreldiğini anımsayın. Bugün, çok da farklı değiller: madde evrenin enerjisinin %25'ini oluştururken, vakum enerjisi diğer %75'i oluşturur. Ama genişlemeye bağlı olarak madde yoğunluğu seyrelip vakum enerjisi seyrelmezken, birbirlerine oranla önemli ölçüde değişirler. Örneğin yeniden birleşme sırasında, maddenin enerji yoğunluğu vakum enerjisinin bir milyar katıydı. Bu yüzden, bugün evrenin tarihinde benzersiz bir şekilde nispeten karşılaştırılabilir olmaları gerçekten de dikkat çekici bir çakışmadır. Kimse nedenini bilmiyor.

Bunlar, vakum enerjisini kuramsal açıdan anlamamız yolunda ciddi sorunlardır. Ama vakum enerjisinin neden bu kadar az olduğu konusundaki endişelerimizi bir yana koyarsak, elimizde verilerin tutarlılık kazanması açısından önemli bir iş gören fenomenolojik bir model olur. (Carnot ve Clausius'un entropi üzerine yararlı şeyler söylemeleri için atomları bilmelerinin gerekmediği gibi, bizim de vakum enerjisinin evrenin genişlemesi konusunda ne yaptığını anlamak için vakum enerjisinin kökenlerini bilmeye ihtiyacımız yoktur.) Kara enerji konusundaki ilk kanıtları 1998'deki süpernova gözlemleri sırasında elde ettik, ama o zamandan beri çok çeşitli yöntemler birbirlerinden bağımsız olarak temel resmi onayladı. Ya evren vakum enerjisinin nazik etkisiyle hızlanıyor ya da çok daha dramatik ve esrarengiz bir şeyler oluyor.

EN DERİN GELECEK

Bildiğimiz kadarıyla, evren genişlerken vakum enerjisinin yoğunluğu değişmiyor. (Çok yavaş değişiyor ve biz de bu değişmeleri henüz ölçemiyor olabiliriz – bu modern gözlemsel kozmolojinin ana hedeflerinden biridir.) Vakum enerjisi üzerine, sonsuz gelecek-

te ona ne olacağını söyleyecek kadar çok şey bilmiyoruz, ama en bariz tahmin, şu andaki değerini ebediyen koruyacağıdır.

Eğer bu doğruysa ve vakum enerjisi böyle kalacaksa, evrenimizin çok uzak geleceğini öngörmek kolay olur. Ayrıntılar ilginç bir şekilde karmaşıklaşıyor, ama ana hatlar görece basit.[17] Evren genişlemeye devam edecek, soğuyacak ve giderek seyrelecek. Uzaklardaki galaksiler hızlanarak bizden uzaklaşacak, gittikçe daha fazla kırmızıya kayacaklar. Sonunda, bize ulaşabilecek fotonların arası açıldıkça, gözden kaybolacaklar. Gözlemlenebilir evrenin tümü, kütleçekimsel olarak bağlanmış yerel galaksiler grubumuz olacak.

Galaksiler sonsuza kadar yaşamaz. Onları oluşturan yıldızlar nükleer yakıtlarını yakıp bitirir ve ölürler. Arta kalan gaz ve tozdan yeni yıldızlar oluşabilir, ama bir azalan getiriler noktasına erişilir ve bundan sonra galaksilerdeki bütün yıldızlar gerçekten ölür. Elimizde beyaz cüceler (bir zamanlar yanan ve yakıtı bitmiş olan yıldızlar), kahverengi cüceler (başlangıçta da yanmamış olan yıldızlar) ve nötron yıldızları (bir zamanlar beyaz cüce olan ama kütleçekim baskısıyla çökmüş olan yıldızlar) kalır. Bu nesneler kendi başlarına istikrarlı olabilir de olmayabilir de; halihazırda en geçerli kuramsal tahminimiz, onları oluşturan protonlarla nötronların de kusursuz bir şekilde istikrarlı olmadıkları ve eninde sonunda daha hafif parçacıklara gerileyecekleri yolundadır. Bu doğruysa (kabul etmek gerekir ki, emin değiliz), çeşitli ölü yıldız biçimleri boşluğa dağılan ince bir parçacık bulutu şeklinde yayılacaklar. Bu çabuk olmayacak; mantıklı bir tahmin 10^{40} yıl sonrasını gösteriyor. Karşılaştırma açısından, halihazırdaki evrenin yaşı yaklaşık 10^{10} yıldır.

Yıldızların yanında, bir de kara delikler vardır. Çoğu büyük galaksinin, bizimki de aralarında olmak üzere, merkezlerinde büyük kara delikler vardır. Samanyolu büyüklüğündeki, yaklaşık 100 milyar yıldız içeren bir galakside, bu kara deliğin kütlesi güneşin birkaç milyon katı kadar olabilir – herhangi bir yıldıza göre büyük, ama bir bütün olarak galaksiyle karşılaştırıldığında yine de küçük. Ama içine düşecek talihsiz yıldızları yutarak büyümeyi sürdürecek.

[17] Fred Adams ve Greg Laughlin bu konuda gayet okunası bir kitap yazdılar (Adams ve Laughlin, 1999).

Sonunda bütün yıldızlar yutulmuş olacak. O noktada, kara delik temel parçacıklar olarak buharlaşmaya başlayacak. Bu, Stephen Hawking'in On İkinci Bölümde ele alacağımız, 1976'daki dikkat çekici buluşudur: "kara delikler o kadar da kara değildir." Bir kez daha kuantum dalgalanmalarına bağlı olarak, bir kara delik çevresindeki uzaya ışımadan duramaz ve bu süreç sırasında da yavaşça enerji kaybeder. Yeterince uzun bir süre beklersek –şimdi de 10^{100} civarında yıldan söz ediyoruz– galaksilerin merkezlerindeki aşırı kütleli kara delikler bile sonunda buharlaşıp yok olacaklar.

Ayrıntıların nasıl gelişeceğinden bağımsız bir şekilde, uzun vadede elimizde hep aynı görüntü kalıyor. Diğer galaksiler bizden uzaklaşıp gözden kayboluyor; bizim galaksimiz de çeşitli safhalardan geçiyor ama nihai sonuç boşluğa dağılan ince bir parçacık bulamacı. Çok uzak gelecekte, evren bir kez daha çok basit bir yer haline geliyor: tamamen boş, uzayın olabildiği kadar boş. Bu evrenin başladığı sıcak, yoğun durumun tam tersi; zaman okunun canlı kozmolojik tezahürü.

EVRENİN ENTROPİSİ

Kuramsal fizikçilerin etkileyici miktardaki beyin-saati evrenin neden başka bir şekilde değil de böyle geliştiği sorusuna hasredilmiştir. Kuşkusuz bu sorunun bir yanıtının olmama olasılığı da vardır; belki de evren böyledir ve tek yapabileceğimiz de kabullenmektir. Ama kabullenmekten ötesini yapabileceğimizden –açıklayabileceğimizden– umutluyuz, bunun için nedenlerimiz de var.

Fizik yasaları üzerine kusursuz bilgi sahibi olunması durumunda, "Neden evren böyle gelişti?" sorusu, "Neden evrenin başlangıç koşulları öyle düzenlendiler?" sorusuyla eşdeğerdir. Ama bu ikinci formülasyon da geçmiş koşullara gelecektekiler karşısında ayrıcalık tanıyarak, içkin bir zaman asimetrisi mefhumunu araya sokuşturuyor. Doğanın temel, mikroskobik yasaları üzerine anlayışımız doğruysa, evrenin *herhangi* bir zamandaki durumunu belirleyebiliriz ve buradan da hem geçmişi hem de geleceği türetebiliriz. Görevimizi, evrenin bir bütün olarak doğal tarihinin ne olarak kabul edileceğini anlamak şeklinde belirlemek daha iyi olur.[18]

[18] Huw Price bu eğilimi çok inandırıcı biçimde teşhis etmişti (Price, 1996). Kozmologları içkin bir çifte standart kullanmakla, erken evreni daha son-

Kozmologların zaman okunun önemini pek değerlendirememiş olmalarında belli bir ironi vardır, çünkü bu herhalde evrenin evrimi üzerine en bariz olgudur. Boltzmann genel görelilik, kuantum mekaniği ve hatta başka galaksilerin varlığı konusunda hiçbir şey bilmeden geçmiş için düşük entropili bir sınır koşul gerekliliğini (isabetli bir şekilde) öne sürmüştü. Entropi konusunu ciddiye almak, kozmolojiye taze bir bakış atmamıza yardımcı olur ki bu da uzun zamandır varlığını sürdüren bilmecelere bazı çözümler akla getirebilir.

Ama önce, "evrenin entropisi" demekle neyi kastettiğimizi biraz daha açıklığa kavuşturmamız gerekir. On Üçüncü Bölümde, gözlemleyebildiğimiz evrenimizdeki entropinin evrimini daha ayrıntılı bir şekilde ele alacağız, ama temel öykü şöyle ilerler:

1. Erken evrende, yapılar biçimlenmeden önce, kütleçekimin entropi üzerinde çok az etkisi vardı. Evren gaz dolu bir kutuya benziyordu ve entropisini hesaplamak için alışılmış termodinamik formüllerini kullanabiliriz. Gözlemlenebilir evrenimize denk gelen uzaydaki toplam entropinin erken zamanlarda 10^{88} olduğu ortaya çıkar.
2. Evrimin halihazırdaki safhasına gelindiğinde, kütleçekim çok önemli hale gelmişti. Bu rejimde, elimizde sarsılmaz bir formül yoktur, ama (muazzam miktarda entropisi olan) kara deliklerin katkısını da ekleyerek, iyi bir tahminde bulunabiliriz. Tek bir büyük kara delikte 10^{90} düzeyinde entropi vardır ve gözlemlenebilir evrende böylesi yaklaşık

---

rakine hiç uygulayamayacakları doğallık kıstaslarına, geç evreni de erken olana uygulayamayacakları kıstaslara tâbi tutmakla suçlar. Price zamana simetrik yasaların güdümündeki tutarlı bir kozmolojinin, zamana simetrik evrime sahip olması gerektiğini öne sürer. Büyük Patlamada düşük entropi varsa, buradan geleceğin de eninde sonunda yine düşük entropiye sahip bir Büyük Ezilmeye doğru yeniden çökeceği sonucu çıkar – ilk kez (Kararlı Durumla ünlü) Thomas Gold tarafından düşünülen Gold evreni. Böylesi bir evrende, evren maksimum boyutlarına vardığında zaman oku tersine döner ve entropi Ezilmeye doğru düşmeye başlar. Bu tür bir senaryo, kara enerjiyi bulmamız sonrasında daha düşük bir olasılık gibi görünmeye başlamıştır. (Price'ın meydan okumasını bu kitapta, evrenin gerçekten de büyük boyutlarda hem uzak gelecekte hem de uzak geçmişte zaman-simetrik olduğunu tasavvur ederek karşılıyoruz, bu da barizdir ki yalnızca Büyük Patlamanın aslında başlangıç olmaması durumunda gerçekleşebilir.

10^{11} kara delik bulunur; dolayısıyla bugün toplam entropimiz 10^{101} dolaylarındadır.

3. Ama daha gidecek çok yol vardır. Gözlemlenebilir evrendeki tüm maddeyi alıp tek bir kara delikte toplarsak, bunun entropisi 10^{120} olacaktır. Bu evrendeki maddenin yeniden düzenlenmesiyle ulaşılabilecek olası en yüksek entropi olarak düşünülebilir ve evrildiğimiz yön de budur.[19]

Önümüzdeki iş söz konusu tarihi açıklamaktır. Özellikle, neden 10^{88} olan erken dönem entropi olası en yüksek entropi olan 10^{120}'den o kadar düşüktür? Önceki sayının, sonrakinden çok çok düşük olduğuna dikkat edin; görüntünün bu yönde olmaması, notasyonun toparlanması mucizesinin sonucudur.

İyi haber şu ki, Büyük Patlama modeli en azından bu soruya anlamlı bir şekilde girişebilmemiz için bir bağlam sağlar. Boltzmann'ın zamanında, genel görelilik ya da evrenin genişlemesi konusunda hiçbir şey bilmediğimiz dönemde, entropi bilmecesini çözmek çok daha zordu, "evrenin başlangıcı" (hatta "gözlemlenebilir evrenin başlangıcı") diye bir olay yoktu. Tersine, biz entropinin tam olarak ne zaman düşük olduğunu ve bu düşük entropi durumunun aldığı biçimi belirleyebiliyoruz; bunun neden böyle olduğunu belirlemekte bu can alıcı öneme sahip bir adımdır.

Kuşkusuz, temel fizik kurallarının tersinir olmaması olasılığı vardır (ama buna karşı daha sonra bazı savlar öne süreceğiz). Ama öyleyseler, Büyük Patlama yakınlarında evrenimizin düşük entropisi bizi iki olasılıkla karşı karşıya bırakıyor:

> Büyük Patlama gerçekten evrenin başlangıcıydı, zamanın başladığı an. Bunun nedeni, fiziğin gerçek yasalarının uzay-zamanın bir sınırı olmasına izin vermesi ya da "zaman" adını verdi-

[19] Evren aslında tek bir büyük kara deliğe çökmeyecektir. Ele alınmış olduğu gibi, boşalacaktır. Ama dikkat çekici olan, kara enerjinin varlığında, boş uzayın bile entropisinin bulunduğudur ve gözlemlenebilir evrenin maksimum entropisi için aynı sayıyı (10^{120}) buluruz. Vakum enerjisinin kuramsal tahmini ile gözlemlenen değeri arasındaki farkın da 10^{120} olduğuna dikkat edin. İki farklı sayı arasındaki bu görünürdeki çakışma aslında şimdiki madde yoğunluğu ile (bu da maksimum entropiyle ilişkilidir) vakumdaki enerji yoğunluğu arasındaki aynı çakışmadır. Her iki durumda da sayılar gözlemlenebilir evrenin boyunun –yaklaşık 10 milyar ışık yılı– Planck uzunluğuna bölünüp, sonucun karesinin alınmasıyla elde edilen sayıdır.

ğimiz şeyin yalnızca bir yaklaştırım olması ve bu yaklaştırımın da Büyük Patlama yakınlarında geçerliliğini yitirmesidir. Her iki durumda da evren doğanın dinamik yasalarının üzerinde ve ötesinde nedenlerle düşük entropili bir durumda başlamıştır – başlangıç durumunu açıklamak için yeni, bağımsız bir ilkeye gerek duyarız.

Başlangıç durumu diye bir şey yoktur, çünkü zaman ebedidir. Bu durumda Büyük Patlamanın, bariz bir şekilde yerel bölgemizin tarihinde önemli bir olay olsa da tüm evrenin başlangıcı olmadığını tasavvur ederiz. Uzay-zamanın içinde bulunduğumuz gözlemlenebilir parçası bir şekilde daha büyük bir resmin içine oturmalıdır. Nasıl oturduğu da daha büyük çerçeveye herhangi bir özel koşul dayatmadan, zamanın bir başında entropinin neden düşük olduğunu açıklamalıdır.

Bunlardan hangisinin gerçek dünyanın doğru betimlemesi olduğuna gelince, tek yanıt, bilmediğimizdir. Kişisel olarak ikinci seçeneği yeğlediğimi itiraf edeceğim, çünkü dünyanın, tam olarak nasıl böyle göründüğünün açıklanması için ilave ilkelere gerek olmadan bir dizi dinamik yasanın neredeyse kaçınılmaz sonucu olarak betimlenebilmesinin daha zarif olacağını düşünüyorum. Bu müphem senaryoyu doğru dürüst bir kozmolojik modele dönüştürmek, evrenimize hâkim olan esrarlı vakum enerjisinden yararlanmamızı gerektiriyor. Oradan buraya gelmek, eğri uzay-zamanın daha derin bir şekilde anlaşılmasını gerektiriyor ki, şimdi oraya döneceğiz.

İKİNCİ KISIM

EINSTEIN'IN EVRENİNDE ZAMAN

4
ZAMAN KİŞİSELDİR

Zaman farklı kişiler için farklı tempolarda ilerler.
-William Shakespeare, *As You Like It*

İnsanlar çoğunlukla "bilim insanı" lafını duyunca akıllarına "Einstein" gelir. Albert Einstein simgesel bir kişiliktir; çok az kuramsal fizikçi resimlerinin tişörtlere basılacağı bir şöhret düzeyine erişebilir. Ama bu rahatsız edici, uzak bir şöhret. Diyelim ki Tiger Woods'un aksine, adını kolaylıkla bilebilecek kişilerin çoğunluğu için Einstein'ın ünlü olmasını sağlayan başarıları bir şekilde esrarını sürdürür.[1] Dağınık, aklı karışık, saçları taranmamış, kazağı sarkmış profesör görüntüsü, çevresindeki dünyevi gerçeklikleri takmayan, zihin dünyasına kapılmış adam izlenimini güçlendirir. Katkılarının içeriği de -kütle ve enerjinin eşdeğerliliği, uzay ve zamanın bükülmesi, nihai kuramı bulma çabası- anlaşıldığı kadarıyla gündelik kaygıların uzağında soyutlamanın doruğu olarak görülür.



Şekil 10: Albert Einstein, 1912'de. "Mucizevi yılı" 1905'tir, genel görelilik üzerine çalışmaları da meyvesini 1915'te vermiştir.

Gerçek Einstein simgeden daha ilginçtir. Bir kere, daha sonraki yıllarında benimsediği dağınık görünümlü adam ile yirminci yüzyı-

---

W. Shakespeare, *Size Nasıl Geliyorsa*, çev. B. Bozkurt, (İstanbul, 1996).
Diğer yandan, Paris Hilton'ın ünlü olmasını sağlayan başarıları da hayli esrarengizdir.

lın ilk on yıllarında fiziğin birkaç kez altüst olmasından sorumlu, iyi giyimli ve bakımlı delici bakışlı genç adam arasında pek az benzerlik vardır.[2] Ayrıca görelilik kuramının kökenleri koltukta oturulup uzay ve zaman üzerine spekülasyonlarda bulunmanın çok ötesine gider; insanları ve nesneleri doğru zamanda doğru yere götürme yolundaki kararlı pratik kaygılara bağlanabilir.

Işık hızının tüm gözlemciler için aynı değere sahip olabileceğini açıklayan özel görelilik, yirminci yüzyılın ilk yıllarında birçok araştırmacı tarafından bir araya getirildi. (Ardılı olan ve kütleçekimi uzay-zamanın eğriliğinin bir etkisi olarak yorumlayan genel görelilik neredeyse tamamen Einstein tarafından geliştirilmiştir.) Özel göreliliğe önemli katkıda bulunanlardan biri Fransız matematikçi ve fizikçi Henri Poincaré'dir. Einstein, hareket halindeki herhangi bir gözlemci tarafından ölçülen "zamanın" herhangi başka biri tarafından ölçülen "zaman" kadar doğru olduğunun öne sürüldüğü cesur adımı atan kişi olmasına karşın hem o hem de Poincaré kendi görelilik araştırmalarında çok benzer formalizmler geliştirmiştir.[3]

Tarihçi Peter Galison *Einstein's Clocks, Poincaré's Maps: Empires of Time* (*Einstein Saatleri; Poincaré Haritaları*), başlıklı kitabında, Einstein ve Poincaré'nin fiziğin mimarisinin ezoterik düşünceleri kadar dünyevi gündelik işlerinden de etkilendiklerini savunur.[4] Einstein o zamanlar önemli bir kaygının hassas saatler

---

2 Einstein'ın "mucizevi yılı," her biri herhangi başka bir fizikçinin kariyerini zirveye taşıyacak bir avuç makaleyi yayımladığı 1905 yılıdır: özel göreliliğin kesin formülasyonu (fotonların varlığının ima edildiği ve kuantum mekaniğine zemin hazırlayan), fotoelektrik etkinin açıklaması, atom düzeyinde rastgele çarpışmalarla Browncı bir hareket kuramı önermesi ve kütle ile enerjinin eşdeğerliliğini ortaya çıkartması. Bir sonraki on yılın büyük bölümünde kütleçekim kuramına odaklandı; nihai yanıtı, genel görelilik kuramı 1915'te, otuz altı yaşındayken tamamlandı. 1955'te, yetmiş altı yaşında öldü.

1892'den başlayarak, nesneler ışık hızının yakınlarında hareket ederken zamanlar ile uzaklıkların etkilendikleri fikrini geliştiren ve birbirlerine göre hareket halindeki gözlemciler tarafından elde edilen ölçümleri ilişkilendiren "Lorentz dönüşümlerini" türeten Hollandalı fizikçi Hendrik Antoon Lorentz'i de anmamız gerekir. Lorentz'e göre, hızlar bir esir ardalanına göre ölçülüyordu. Einstein esirin gereksiz bir kurgu olduğunu idrak eden kişidir.

Galison (2003). Galison'ın kitabından, Poincaré'nin vakasını aslında Einstein'ınkinden daha ilginç bulduğu izlenimini edinirsiniz. Ama yazar kitabının başlığına Einstein'ın adını koyma şansını elde ederse, o öne geçer. Einstein satış demektir.

imal etmek olduğu, İsviçre'nin Bern kentinde patent katibi olarak çalışıyordu. Demiryolları Avrupa'nın kentlerini birbirlerine bağlamaya başlamıştı ve uzak mesafelerde saatleri eşzamanlı çalıştırmak acil bir sanayi sorunuydu. Bu arada, daha kıdemli Poincaré Fransa Boylam Dairesinin başkanlığını yapıyordu. Deniz trafik ve ticaretinin artması, hem gemilerin seyrüseferi hem de daha hassas haritaların çizilebilmesi için denizde boylamın tespitinde daha hassas yöntemlere bir talep doğmasına neden olmuştu.

İşte karşınızda: haritalar ve saatler. Uzay ve zaman. Özellikle de önemli olanın "gerçekte neredesiniz?" ya da "doğrusu saat kaç?" biçiminde sorular yerine "diğer şeylere görece neredesiniz?" ve "saatiniz kaçı gösteriyor?" biçiminde olanlar olduğunun takdiri. Newtoncı mekaniğin katı, mutlak uzay ve zamanı, dünyayı sezgisel anlayışımızla bir güzel uyuşur; tersine görelilik belli bir soyutlama adımı gerektirir. Yüzyılın başında fizikçiler, yalnızca sezgilerimize uyduğu için yapıları dayatmamamız, gerçek cihazlarla ölçebildiğimiz şeyleri ciddiye almamız gerektiğini anlayarak birinciyi ikincinin yerine koyabildiler.

Özel görelilik ve genel görelilik modern uzay ve zaman anlayışımızın temel çerçevesini oluşturur ve kitabın bu bölümünde "uzay-zamanın" "zaman" kavramı için çıkarımlarının ne olduğunu göreceğiz.[5] Büyük ölçüde entropi, İkinci Yasa ve zaman oku üzerine kaygıları bir kenara bırakacağız ve fiziğin temelde tersinir yasalarının kesinlikli dünyasına sığınacağız. Ama görelilik ve uzay-

---

[5] George Johnson (2008), Leonard Susskind'in kitabı ***The Black Hole Wars*** (2008) üzerine yazarken, popüler fizik kitaplarının modern okurlarının kaderinden yakınır.

> Susskind ve arkadaşlarının sonunda Hawking'in muhtemelen haksız olduğunu –bilginin gerçekten de korunduğunu– nasıl gösterdiklerini öğrenmek için sabırsızdım. Ama önce görelilik ve kuantum mekaniği üzerine altmış altı sayfalık bir hızlı kurs almam gerekti. Günümüz fiziği üzerine bütün kitaplar böyle başlar gibidir, bu da birden fazla böyle kitap okuyan için sıkıcıdır. (2008 başkanlık seçim kampanyası üzerine bütün kitapların Atina demokrasisinin kökenleri ve Fransız Aydınlanmasının mirasıyla başladığını düşünün.)

Çözüm barizdir: göreliliğin ve kuantum mekaniğinin temelleri, Atina demokrasisinin kökenleri ve Fransız Aydınlanmasının mirası gibi orta öğretimin bir parçası olmalıdır. Bu arada, bu bölüm de kaçınılmaz hızlı kursun bir parçası olacak, ama özellikle "zamanın" rolüne odaklanarak işleri açıklamanın en aşınmış kısımlarından kaçınmış olacağız.

zamanın dallanıp budaklanmalarının zaman okuna bir açıklama getirme programımız için can alıcı önemde olduğu görülecek.

UZAYDA KAYBOLMAK

Zen Budizm, "yeni başlayanın zihni" kavramını öğretir: İnsanın bütün peşin hükümlerden arınıp, dünyayı kendi koşullarıyla kavramaya hazır olma hali. Böyle bir hale ulaşma ihtirasının ne kadar gerçekçi olduğu tartışılabilir, ama görelilik üzerine düşünürken bu kavram kesinlikle uygundur. Bu yüzden, zamanın evrende nasıl işlediği konusunda ne bildiğimizi düşündüğümüzü bir kenara bırakalım ve göreliliğin zaman üzerine neler söyleyeceğini bulmak için kimi (yanıtlarını gerçek deneylerden bildiğimiz) düşünce deneylerine dönelim.

Bu amaçla, uzayda, herhangi bir gezegen ya da yıldızın etkisinden uzakta kapalı bir uzay gemisinde yalıtılmış bir durumda serbest düşüşte olduğumuzu tasavvur edelim. Elimizde gıda, hava ve arzu edebileceğimiz bütün temel ihtiyaç maddelerimizin yanında, makaralar, tartılar ve benzeri lise düzeyi araç gerecimiz de bulunuyor. Tek yapamadığımız, dışarıya, uzaklardaki şeylere bakmak. İlerlerken, geminin içinde ya da dışındaki çeşitli algılayıcı cihazlardan öğrendiklerimizi düşünüyoruz.



Şekil 11: Yalıtılmış bir uzay gemisi. Soldan sağa: serbest düşüşte, hızlanıyor ve kendi ekseninde dönüyor.

Ama önce, uzay gemisinin içinden neler öğrenebileceğimizi görelim. Geminin kontrollerine ulaşabiliyoruz; gemiyi istediğimiz herhangi bir eksende döndürebiliyoruz ve istediğimiz yönde hareket etmek üzere motorları çalıştırabiliyoruz. Böylece saatleri gemiyi çeşitli şekillerde hareket ettirerek, nereye gittiğimizi bilmeden ya da umursamadan ve biraz da deneyimimizle oyalanarak geçiriyoruz.

Ne öğreniriz? En barizi, geminin hızlandığını anlarız. Hızlanmazken, yemek masamızdaki bir çatal önümüzde, ağırlıksız olarak yüzer; roketleri çalıştırdığımızda, aşağıya düşer, burada "aşağı" olarak, "geminin hızlandığı yönün tersi yön" tanımlanır.[6] Biraz daha oynarsak, geminin eksenlerinden birinin etrafında döndüğünü de anlayabileceğimizi öğreniriz. Bu durumda, kesinlikle dönme ekseninde yer alan bir çatal orada, serbest düşüşte yüzebilir; ama çevredeki her şey geminin gövdesine doğru "çekilip" orada kalır.

Yani geminin durumu üzerine gözlem yoluyla belirleyebileceğimiz bazı şeyler vardır. Ama *belirleyemeyeceğimiz* şeyler de vardır. Örneğin nerede olduğumuzu bilmeyiz. Diyelim ki bir yerde, hızlanmayan, dönmeyen gemimizde bir dizi deney gerçekleştirdik. Sonra roketleri biraz ateşledik, başka bir yere gittik ve yeniden hızlanmayan, dönmeyen bir hale gelecek şekilde roketleri durdurduk ve yeniden aynı deneyleri gerçekleştirdik. Deneysel fizik konusunda biraz becerimiz varsa, aynı sonuçları elde ederiz. İvmemizin miktarı ve süresi konusunda çok iyi kayıt tuttuysak muhtemelen ne kadar yol aldığımızı hesaplayabiliriz; ama yalnızca yerel deneyler gerçekleştirerek, bir yeri diğerinden ayırt etmek olanaksız görünür.

Benzer şekilde, bir hızı diğerinden ayırt etmek de olanaksız görünür. Roketleri durdurduğumuzda, yine serbest düşüşte oluruz, eriştiğimiz hız ne olursa olsun; ters yönde yavaşlamamız gerekmez. Yıldızlararası uzayın bu ıssızlığında, geminin bir yöne olan

---

[6] Bilimkurgu filmleri ve televizyon dizileri gerçekliğin bu özelliğini açıkça görmezden gelirler; bunun nedeni çoğunlukla ağırlıksızlığı taklit etmenin çok zor olmasıdır. (*Uzay Yolu: Enterprise*'ın bir bölümü, Kaptan Archer duş alırken geminin "kütleçekimi" yitirdiği eğlenceli bir sahne içerir.) Kaptan ve mürettebatın köprüde amaçları doğrultusunda rahatlıkla dolaşmaları için gerekli yapay kütleçekim bildiğimiz kadarıyla fizik yasalarıyla uyumlu değildir. Hızlanmıyorsanız, bu kadar kütleçekimi sağlamanın tek yolu küçük bir gezegen kadar bir kütle taşımaktır ki bu da pek pratik görünmüyor.

doğrultusunu da diğerinden ayırt etmek olanaksızdır. Dönüp dönmediğimizi belirleyebiliriz, ama gemiye kazandırdığımız dönmeyi durduracak şekilde gerekli yönlendirme roketlerini ateşlersek (ya da yerel jiroskopları çalıştırırsak) geminin hangi açıda dönmüş olduğunu ortaya çıkartacak herhangi bir yerel deney yoktur.

Bu basit sonuçlar gerçekliğin nasıl çalıştığı konusundaki derin özellikleri yansıtır. Cihazlarımıza, deneysel sonuçların hiçbirini değiştirmeden bir şey yaptığımızda –konumunu değiştirmek, döndürmek, sabit bir hızla harekete geçirmek– bu doğa yasalarındaki bir *simetriyi* yansıtır. Fizikte simetri ilkeleri olağanüstü güçlüdür çünkü doğanın yasalarının hangi biçimleri alabileceği ve ne türden deneysel sonuçlar alınabileceği konusunda zorlayıcı kısıtlamalar uygularlar.

Doğaldır ki, karşılaştığımız simetrilerin adları vardır. Uzayda bir şeyin yerini değiştirmeye "öteleme" denir; uzayda bir şeyin yönünü değiştirmeye "dönme" denir; bir şeyin uzayda hızını değiştirmeye de "itme" denir. Özel görelilik bağlamında, dönme ve itmelerin toplamı "Lorentz dönüşümleri," ötelemelerin tümünü içeren diziye de "Poincaré dönüşümleri" denir.

Bu simetrilerin ardındaki temel fikir, özel göreliliğin çok öncesinde vardı. Galileo, şimdi öteleme, dönme ve itme sırasında doğa yasalarının değişmez olması gerektiğini ilk öne süren kişidir. Görelilik olmadan bile Galileo ve Newton'ın mekanik konusunda haklı oldukları ortaya çıksaydı, yine de yalıtılmış bir uzay gemisinde serbest düşüşte konumumuzu, yönümüzü ve hızımızı belirleyecek durumda olmayacaktık. Görelilik ile Galileocu perspektif arasındaki fark, hareket halindeki bir gözlemcinin gözlem çerçevesine geçtiğimizde olacaklarda yatar. Doğrusu, göreliliğin mucizesi, hızdaki değişmelerin, uzaysal yönelmedeki değişmelerin yakın akrabaları olarak görülmeleridir; bir itme yalnızca bir dönmenin uzay-zaman sürümüdür.

Oralara gitmeden, önce durup işlerin başka türlü olmuş olup olamayacağını düşünelim. Örneğin mutlak konumun, mutlak hızın gözlemlenemez olduğunu ama mutlak ivmenin ölçülebileceğini öne sürdük.[7] Mutlak konumun gözlemlenemediği ama mutlak

[7] Hız konumdaki değişme oranıdır, ivme de hızdaki değişme oranı. Kalkülüs terimleriyle, hız konumun birinci türevidir, ivme de ikinci türevi. Klasik mekaniğin derin özelliklerinden biri, bir parçacığın durumu hakkında belirti-

hızın nesnel olarak ölçülebildiği bir dünya, bir fizik yasaları kümesi tasavvur edebilir miyiz?[8]

Kuşkusuz yapabiliriz. Hava ya da su gibi hareketsiz bir ortamda hareket ettiğinizi düşünün. Sonsuz büyüklükte bir su havuzunda yaşasaydık, konumumuz önemsiz, ama suya göre hızımızı belirlemek kolay olurdu. Ve uzayı kaplayan böylesi bir ortam düşünmek de çılgınca değildir.[9] Ne de olsa, Maxwell'in elektromanyetizma üzerine çalışmalarından bu yana, ışığın bir tür dalga olduğunu biliyoruz. Ve elinizde bir dalga varsa, dalgalanmaya neden olacak bir şeylerin olduğunu düşünmek de doğaldır. Örneğin ses yayılmak için havaya gerek duyar; uzayda, kimse çığlık attığınızı duymaz. Ama ışık uzay boşluğunda ilerleyebilir, bu yüzden (bu mantığa göre, ki yanlış olduğu ortaya çıkmıştır) içinde ilerlediği bir ortam olması gerekir.

Böylece on dokuzuncu yüzyılda fizikçiler elektromanyetik dalgaların görünmeyen ama çok önemli bir ortamda yayıldığını varsaydılar ve buna "esir" adını verdiler. Deneyciler de bunu tespit etmek için çalışmaya koyuldular. Ama başarılı olamadılar – ve bu başarısızlık da özel görelilik için sahneyi hazırladı.

---

lebilecek bilginin, konumu ve hızı olmasıdır; o zaman ivme yerel koşullar ve uygun fizik yasalarıyla belirlenir.

Okuyucuya bırakılan bir egzersiz: uzayda mutlak yönelimin gözlemlenebilir olduğu bir dünya tasavvur edebilir miyiz? Konum, hız ve ivmenin gözlemlenemediği, ama ivmedeki değişme oranının gözlemlenebildiği bir dünyaya ne dersiniz?

Bu aşamada faraziyeler içinde boğulmayın. Bugün uzayı kaplayan ve bununla karşılaştırarak hızımızı ölçebileceğimiz bir ortamın olmadığına güçlü bir şekilde inanıyoruz. Ama on dokuzuncu yüzyılın sonlarında buna inanıyorlardı; bu sözünü edeceğimiz esirdir. Diğer yandan, uzaydaki her noktada tanımlanmış alanlar olduğuna inanıyoruz ve bunların bazıları (örneğin farazi Higgs alanı) uzay boşluğunda sıfır olmayan değerlere sahip olabilirler. Şu anda, elektromanyetik ya da başka dalgaların bu alanlarda salınımlar yaydıklarına inanıyoruz. Ama bir alan hem sıfır değere sahip olabileceği hem de buna göre hızımızı ölçemeyeceğimiz için "ortam" sayılmaz. Ama üçüncü bir husus, her şeyi bilmiyor olmamız olasıdır ve bazı hayal gücüne sahip kuramsal fizikçiler bir durgun çerçeve tanımlayan ve bunlara göre hızımızı ölçebileceğimizi tasavvur edebileceğimiz alanlar olup olamayacağını düşünüyorlar (Örneğin *bkz.* Mattingly, 2005). Böylesi alanlar afaki bir şekilde "esir" olarak adlandırılmıştı, ama aslında on dokuzuncu yüzyılda önerilen türden bir esir değiller. Özellikle, elektromanyetik dalgaların yayılmasıyla bir ilişkileri yok ve altta yatan görelilik ilkeleriyle de kusursuz bir uyum içindeler.

GÖRELİLİĞİN ANAHTARI

Yine uzaya geri döndüğümüzü tasavvur edin, ama bu kez yanımızda daha karmaşık deneysel cihazlar getirdik. Özellikle de son sistem lazer teknolojisine sahip etkileyici görünümlü bir aletimiz var ve ışık hızını ölçüyor. Serbest düşüşteyken (ivme yokken), aletin ayarlanması için deneyimizi ne tarafa yöneltirsek yöneltelim ışık hızı için aynı değeri elde edip etmediğimize bakıyoruz. Öyle de oluyor. Dönel değişmezlik, bizim de kuşkulandığımız gibi, ışığın yayılmasının özelliklerinden biri.

Şimdi de farklı hızlarda ilerlerken ışığın hızını ölçmeyi deniyoruz. Yani önce deneyi gerçekleştiriyoruz, sonra roketleri biraz ateşliyoruz ve ilk hareketimize göre sabit bir hız elde edince de roketleri durduruyoruz ve deneyi tekrarlıyoruz. İlginçtir, ne kadar hızlanırsak hızlanalım, ölçtüğümüz ışık hızı hep aynı. Ses dalgalarının havada yol alması gibi ışığın da içinde yol aldığı bir esir ortamı olsa, esire göre hızımıza bağlı olarak farklı sonuçlar elde etmeliydik. Ama etmiyoruz. Hareket eden geminin içinde yaratılmış olmasının etkisiyle ışığın bir şekilde itildiğini tahmin edebilirsiniz. Bunu kontrol etmek için perdeleri biraz aralamanıza ve dış dünyadan biraz ışık girmesine izin veriyoruz. Bir dış kaynak tarafından üretilen ışığın hızını ölçtüğünüzde, bir kez daha uzay geminizin hızına bağlı olmadığını görüyorsunuz.

Bu deneyin gerçek dünyadaki bir sürümü 1887'de Albert Michelson ve Edward Morley tarafından gerçekleştirildi. Güçlü motorları olan bir uzay gemileri yoktu, bu yüzden en yakın şeyi kullandılar: Yerkürenin Güneşin çevresindeki hareketini. Yerkürenin yörünge hızı yaklaşık saniyede 30 kilometredir, bu yüzden kışın ters yönde ilerlediği yaza göre saniyede 60 kilometre farklı bir hızı vardır. Bu ışığın saniyedeki 300.000 kilometrelik hızına göre çok da fazla değildir, ama Michelson, farklı yönlerdeki küçük hız değişikliklerine çok hassas olan ve girişimölçer (interferometre) olarak bilinen zekice bir alet tasarladı. Sonuç şuydu: ne kadar hızlı ilerlersek ilerleyelim, ışık hızı aynı gözüküyordu.

Bilimsel ilerlemeler nadiren doğrudan olur ve Michelson-Morley sonuçlarını doğru yorumlamak da o kadar basit değildir. Belki de esir Yerküreyle birlikte sürükleniyor ve göreli hızımız da küçük kalıyordur. Bir süre şiddetli ileri-geri kuramsallaştırmalar-

dan sonra, fizikçiler şimdi doğru yanıt olduğunu bildiğimiz sonuca vardılar: Işık hızı sadece bir evrensel değişmezdir. Herkes, deneycinin hızından bağımsız olarak ışığın aynı hızda ilerlediğini ölçer.[10] Doğrusu, özel göreliliğin tüm içeriği şu iki ilkeye indirgenebilir:

> Hiçbir yerel deney, sabit hızda hareket eden gözlemcileri ayırt edemez.
> Işık hızı tüm gözlemciler için aynıdır.

Işık hızı tümcesini kullandığımızda, zımnen söz konusu olanın uzay boşluğunda ışık hızı olduğu kabul edilir. Işığın başka bir hızda hareket etmesini sağlamak, şeffaf bir ortamı devreye sokarak gayet kolay olur – ışık uzay boşluğuna göre cam ya da suda daha yavaş ilerler, ama bu bize fizik yasaları üzerine derin bir bilgi sağlamaz. Doğrusu, bu oyunda "ışık" o kadar da önemli değildir. Önemli olan uzay-zamanda eşsiz bir yeğlenen hızın mevcut olmasıdır. Işık uzay boşluğunda ilerlerken bu hızda gider – ama önemli olan bir hız sınırının bulunmasıdır, ışığın o kadar hızlı gitmesi değil.

Bunun ne kadar da şaşırtıcı olduğunu değerlendirebilmemiz gerekir. Diyelim ki uzay geminizdesiniz ve uzaklardaki başka bir uzay gemisinden bir arkadaşınız size bir el feneri tutuyor. Fenerden gelen ışığın hızını ölçüyorsunuz ve yanıt saniyede 300.000 kilometre oluyor. Şimdi roketlerinizi ateşliyorsunuz ve arkadaşınıza doğru hızlanıyorsunuz; göreli hızınız saniyede 200.000 kilometre olana kadar. Fenerden gelen ışığın hızını ölçüyorsunuz, yine saniyede 300.000 kilometre çıkıyor. Bu çılgınca geliyor; aklı başında herkes, bunun saniyede 500.000 kilometre olmasını bekler. Ne oluyor?

Özel göreliliğe göre yanıt, gözlem çerçevenize bağımlı olanın ışık hızı değil, "kilometre" ve "saniye" mefhumlarınız olmasıdır. Bir metrelik bir çubuk yüksek hızda yanımızdan geçerse, "uzunluk daralmasına" uğrar – gözlem çerçevemizde duran metre çubuğuna göre daha kısa görünür. Benzer şekilde, bir saat yüksek hızda yanımızdan geçerse, "zaman genişlemesine" uğrar – sabit

[10] Tarihsel ardalanın bir bölümü için, *bkz.* Miller (1981). Görelilikle ilgili özgün makalelerin birçoğu Einstein (1923) içinde yeniden basılmıştır.

duran saate göre daha yavaş ilerler gibi görünür. Birlikte, bu olgular hassas bir şekilde her türlü göreli hareketi telafi ederler ve böylece herkes kesinlikle aynı ışık hızını ölçer.[11]

Işık hızının değişmezliği, yanında önemli bir sonuç daha taşır: Hiçbir şey ışıktan daha hızlı hareket edemez. Kanıt yeterince basittir; bir fenerden yayılan ışığa karşı yarışmaya çalışan bir roketin içinde olduğunuzu tasavvur edin. Başlangıçta, roket sabittir (bizim gözlem çerçevemizde diyelim) ve ışık yanından saniyede 300.000 kilometre hızla geçer. Sonra roket bütün kuvvetiyle hızlanır ve muazzam bir hıza erişir. Mürettebat (şimdi uzakta bulunan) fenerden çıkan ışığı ölçtüğünde, bunun yanlarından saniyede 300.000 kilometre hızla geçtiğini görür. Ne yaparlarsa yapsınlar ne kadar şiddetle ya da ne kadar uzun süre hızlanırlarsa hızlansınlar, ışık hep daha hızlıdır ve aynı miktarda hızlıdır.[12] (Yani onların bakış açısından. Dış gözlemcinin perspektifinden, ışık hızına giderek yaklaşırlar ama hiç erişemezler.)

Ama, uzunluk daralması ve zaman genişlemesi özel görelilik üzerine düşünmek için kesinlikle meşru olmalarının yanında hayli kafa karıştırıcı da olabilir. Fiziksel bir nesnenin "uzunluğunu" düşündüğümüzde, bir ucundan diğerine olan mesafeyi ölçmemiz gerekir, ama zımnen bunu *aynı anda* yapmamız gerekir. (Duvarda ayağınızın hizasına bir işaret koyduktan sonra merdivene tırmanıp başınızın olduğu yere bir işaret daha koyup, işaretler arasındaki mesafenin boyunuz olduğunu ilan ederek boyunuzu uzata-

---

[11] Gerçekte uzunluk toplanması ya da zaman genişlemesini deneyimleyebilmek için ya inanılmaz hassas ölçüm aletlerine sahip olmamız ya da ışık hızına yakın hızda hareket etmemiz gerekir. Ne böyle bir alet ne de böylesi bir hız günlük yaşamımızın parçalarıdır, bu nedenle özel görelilik bize oldukça mantık dışı gelir. Kuşkusuz, çevremizdeki nesnelerin çoğunluğunun ışık hızıyla karşılaştırıldığında küçük göreli hızlara sahip olmaları olgusu, dünya hakkında ilginç bir olgudur ve eksiksiz bir evren kuramının bunu da açıklamaya çalışması gerekir.

Bu savın aslında ışıktan hızlı ilerlemenin olanaksızlığını değil, sadece ışıktan yavaş giden bir şeyin ışıktan daha yüksek hızlara çıkmasının olanaksızlığını kanıtladığından kuşkulanabilirsiniz. Işıktan *hep* daha hızlı ilerleyen nesneler olduğunu ve hızlanmalarının gerekmediğini tasavvur edebiliriz. Bu gerçekten de mantıklı bir olasılıktır; böylesi farazi parçacıklar "takyon" olarak bilinir. Ama bildiğimiz kadarıyla gerçek dünyada mevcut değiller ve bu da iyi bir şey; ışıktan hızlı işaret gönderme becerisi, zamanda geriye işaret göndermeyi de yanında getirir ve bu da nedensellik mefhumumuzu perişan eder.

mazsınız.) Ama özel göreliliğin ruhu bize aynı anda gerçekleşen farklı olaylar hakkında ifadede bulunmaktan kaçınmamızı söyler. Bu yüzden sorunu başka bir açıdan ele alalım: "uzay-zamanı" ciddiye alarak.

UZAY-ZAMAN

Uzay gemisine geri dönelim. Ama bu kez kapalı geminin içinde deney yapmak yerine, kendi roketleri ve seyrüsefer sistemleri olan küçük bir robot sondalar filomuz var ve bunları istediğimiz gibi gidip gelecekleri şekilde programlayabiliyoruz. Her birinde de çok hassas atom saatleri var. Önce bu saatleri titizlikle ana gemimizdeki saatle eşleştiriyor ve hepsinin aynı zamanı gösterip çok hassas ilerlemelerini sağlıyoruz.

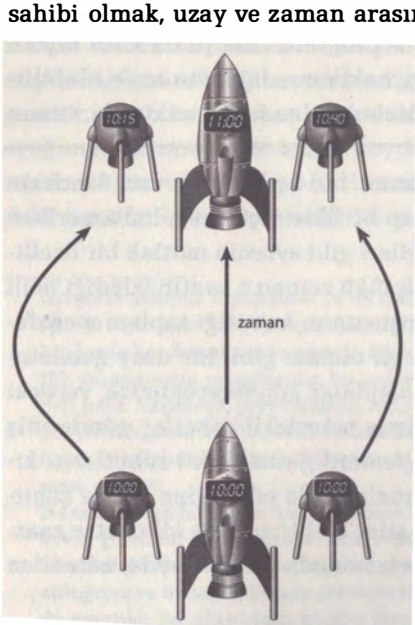
Sonra sondalarımızdan bazılarını bizden uzaklaşıp ardından da geri gelmek üzere gönderiyoruz. Geri döndüklerinde, hemen bir şeyi fark ediyoruz: sonda gemilerindeki saatler artık gemimizdeki bilgisayarla uyuşmuyor. Bu bir düşünce deneyi olduğu için, farklılığın kozmik ışınlar, hatalı programlama ya da kötü niyetli uzaylıların müdahalesinden kaynaklanmadığından emin olabilirsiniz – sondalar gerçekten de bizimkinden farklı miktarda zaman deneyimlediler.

Neyse ki, bu sıra dışı olgunun bir açıklaması var. Saatlerin deneyimlediği zaman, orada hep birlikte ölçülecek, bir Amerikan futbolu sahasındaki yarda çizgileri gibi evrenin mutlak bir özelliği değildir. Aksine, bir saatin ölçtüğü zaman o saatin izlediği belli güzergâha bağlıdır, tıpkı bir koşucunun katettiği toplam mesafenin, benimsediği güzergâha bağlı olması gibi. Bir uzay gemisinden saatlerle donanmış robot sondalar göndereceğimize, yerdeki bir üsten kilometre saati takılmış tekerlekli robotlar göndermiş olsaydık, farklı güzergâhlara gönderdiğimiz farklı robotların kilometre saatlerinde farklı okumalar elde edildiğine kimse şaşırmazdı. Alınacak ders şudur: saatler de bir şekilde kilometre saatleri gibidir, belli bir güzergâhta (zamanda ya da uzayda) katedilen zamanın hesabını tutarlar.

Saatler bir şekilde kilometre saatleri gibiyse, zaman da bir şekilde uzay gibidir. Özel görelilikten önce bile Isaac Newton tarzı mutlak uzay ve zamana inanıyor olsak da bunları "uzay-zaman"

adını verdiğimiz tek bir varlık halinde birleştirmemizi engelleyen bir şey olmadığını unutmayın. Evrende bir olayı belirtmek için yine de dört sayı (üçü uzaydaki konumunu, biri de zamanı belirlemek için) vermek gerekliydi. Ama Newtoncı bir dünyada, uzay ve zamanın tamamen ayrı kimlikleri vardı. "Pazartesi sabahı evden ayrılmak" ve "aynı sabah daha sonra işe varmak" gibi iki farklı olay verildiğinde, ikisi arasındaki uzaklıktan ve aralarında geçen zamandan ayrı ayrı (ve belirsizlik korkusu olmadan, eşsiz olarak) söz edebilirdik. Özel görelilik bunun doğru olmadığını söyler. Kilometre saati tarafından ölçülen "uzayda uzaklık" ve saatler tarafından ölçülen "geçen zaman" iki farklı şey değildir. Yalnızca bir tek şey vardır, iki olay arasındaki *uzay-zamandaki aralık*, bu da büyük ölçüde uzaydaysa sıradan uzaklığa, büyük ölçüde zamandaysa saatler tarafından ölçülen zamana karşılık gelir.

"Büyük ölçüde" kimin kararıdır? Işık hızının. Hız saniyede kilometre olarak ölçülür ya da başka bir zamanda uzaklık birimiyle; dolayısıyla doğanın yasalarının bir parçası olarak belli bir hız sahibi olmak, uzay ve zaman arasında bir aktarımın yolunu sağlar. Işık hızından daha yavaş yolculuk ettiğinizde, büyük ölçüde zamanda hareket edersiniz; ışıktan daha hızlı yolculuk ederseniz (ki bunu yapmak üzere değilsiniz), büyük ölçüde uzayda hareket edeceksiniz.



Şekil 12: Uzaklaşıp geri gelen güzergâhlardaki zaman, geride kalan saatlere göre geçen zamandan daha azdır.

Ayrıntılardan bazılarını ete kemiğe bürüyelim. Sondalarımızdaki saatleri daha dikkatle incelediğimizde, yolculuk eden saatlerin tümünün aynı şekilde farklı olduklarını fark ederiz: sabit kalana göre daha *kısa* zamanlar gösterirler. Biz kendimizi zamanın uzay gibi olduğu ve saatlerin uzay-zamanda katedilen bir uzaklığı

yansıttığı fikriyle rahatlatırken, bu çarpıcıdır. Ama babadan kalma sıradan uzayın durumunda, etrafta tıngır-mıngır dolanmak bir yolculuğu hep daha uzatır; uzaydaki iki nokta arasında, bir doğru en kısa uzaklıktır. Saatlerimiz bize doğruyu söylüyorsa (ki söylüyorlar), anlaşılan hızlanmayan (ivmesiz) –uzay-zamanda bir doğru parçası, diyelim– iki olay arasındaki *en uzun* zaman güzergâhıdır.

Peki, ne bekliyordunuz? Zaman da bir şekilde uzay gibidir, ama barizdir ki, her açıdan uzaydan tamamen ayırt edilemez değildir. (Kimsenin talimatları şaşırıp yanlış yöne saparak kendisini geçmiş zamanda bulma tehlikesi yoktur.) Şimdilik entropi ve zaman oku sorunlarını bir kenara bırakıp, zamanı uzaydan ayıran temel özelliği ortaya çıkarttık: fazladan hareket uzay-zamandaki iki olay arasında geçen zamanı *azaltırken*, uzaydaki iki nokta arasında katedilen uzaklığı *artırır*.

Uzayda iki nokta arasında hareket etmek istiyorsak, fiilen katettiğimiz uzaklığı çılgınca dolambaçlı bir güzergâh izleyerek (ya da sadece yolumuza devam etmeden önce rastgele sayıda daireler çizerek) istediğimiz kadar uzatabiliriz. Ama uzay-zamanda iki olay –zamanda belli anlarda uzaydaki belli noktalar– arasında yolculuk ettiğimizi düşünün. "Doğru parçası" üzerinde hızlanmadan, hep sabit hızda hareket edersek, olası en uzun süreyi deneyimleriz. Tam tersini yapar, her yerde olabildiğince hızlı hareket eder, ama hedefimize önceden belirlenen zamanda varmaya özen gösterirsek, daha kısa bir süre deneyimleriz. Eğer ortalıkta tam ışık hızında dolaşırsak, ne kadar dolanırsak dolanalım, hiçbir süre deneyimlemeyiz. Bunu tam olarak yapamayız, ama istediğimiz kadar yaklaşabiliriz.[13]

Bu, "zamanın bir şekilde uzay gibi" olmasının tam anlamıdır – uzay-zaman uzay kavramının bir genelleştirmesidir, zaman uzay-

[13] Bazen özel göreliliğin hızlanan cisimleri kapsayamayacağını ve hızlanmayı hesaba katabilmek için genel göreliliğe gerek duyduğunuzu işitirsiniz. Bu tamamen saçmalıktır. Genel görelilik kütleçekimin önemli olduğu ve uzay-zamanın büküldüğü zaman (ve sadece o zaman) gereklidir. Herhangi bir kütleçekim alanının uzağında, uzay-zamanın düz olduğu yerlerde, ne olursa olsun –hızlanan cisimler de dahil– özel görelilik uygulanır. Serbest düşüşteki (hızlanmayan) güzergâhların, hepsi eşit yaratıldığı için, özel görelilikte özel bir durumları olduğu doğrudur. Ama buradan hızlanan güzergâhların özel göreliliğin diliyle betimlenemeyeceği fikrine sıçramak tamamen yanlıştır.

zamanın boyutlarından biri rolünü oynar, ama uzay boyutlarından biraz farklı bir tatta. Bunların hiçbiri gündelik yaşamımızda bize aşina değildir, çünkü biz ışık hızından çok daha yavaş hareket ederiz. Işıktan çok daha yavaş hareket etmek, futbol sahasını boyuna kateden, hiç sağa sola sapmayan bir bek gibi hareket etmektir. Böyle bir oyuncu için, "katedilen uzaklık," "kazanılan yarda" ile eşdeğerdir ve belirsizlik yoktur. Zaman da gündelik yaşamımızda böyledir; biz ve bütün tanıdıklarımız ışık hızından çok daha yavaş hareket ettiğimiz için zamanın, güzergâhlarımız üzerindeki uzay-zaman aralıklarının bir ölçümü değil, evrenin evrensel bir özelliği olduğunu farz ederiz.

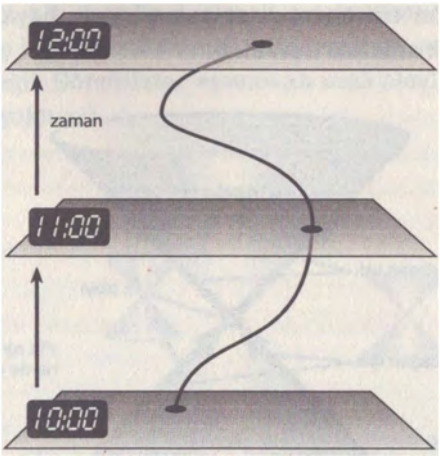
IŞIK KONİNİZİN İÇİNDE KALMAK

Uzay-zamanın özel göreliliğe göre işleyişiyle uzlaşmanın bir yolu, bir harita çizmektir: uzay ve zamanın bir resmini çizip, nereye gidebileceğimizi göstermek. Isınmak için Newton uzay-zamanının bir resmini çizelim. Newton uzay ve zamanı mutlak olduğundan, haritamızda eşsiz "sabit zaman anları" tanımlayabiliriz. Uzay ve zamanın dört boyutunu alıp, Şekil 13'te gösterildiği gibi uzayı sabit zamanlı üç boyutlu dilimlere ayırabiliriz. (Aslında şekilde yalnızca iki boyutlu dilimler gösterebiliyoruz; hayal gücünüzü kullanıp her dilimi üç boyutlu uzayı gösteriyormuş gibi yorumlayın.) Kritik olan şu ki, herkes zaman ile uzay arasındaki fark konusunda hemfikir; hiçbir keyfi seçimde bulunmuyoruz.

Her Newtoncı nesne (bir kişi, bir atom, bir uzay gemisi) bir zaman çizgisi –nesnenin uzay-zamanda izlediği güzergâh– tanımlar. (Kesinlikle hareketsiz oturuyor olsanız bile uzay-zamanda hareket ediyorsunuz; yaşlanıyorsunuz, değil mi?[14]) Bununla birlikte, bu zaman çizgileri çok katı bir kurala uyarlar: zamanın bir anından bir kez geçtiler mi, kesinlikle zamanda geri dönüp aynı noktadan bir kez daha geçemezler. İstediğiniz kadar hızlı hareket edin –bir an burada, bir saniye sonra da bir milyar ışık yılı ötede

[14] Zamansal şovenizme (insanın zamanda ileriye doğru gittiğini kabul ederek) bu kaba saba sapma için özür dilerim, zamanda "hareket etme" eğretilemesine kapılmaktan hiç söz etmiyorum. "Her nesne uzay-zamanda hareket eder," demektense, "her nesnenin tarihi uzay-zamanda uzanan bir zaman çizgisi betimler" demek daha az önyargılıdır. Ama bazen, hep bu kadar ukalaca kesin olmak çok yorucu oluyor.

olabilirsiniz– ama **zamanda** ileri doğru gitmek zorundasınız ve her anı kesinlikle bir kez kesersiniz.



Şekil 13: Newton uzay ve zamanı. Evren sabit zaman anlarına dilimlenmiş bu da belirsizliğe yer vermeyecek şekilde zamanı, geçmiş ve gelecek olarak bölüyor. Gerçek nesnelerin zaman çizgileri geri dönüp zamanın bir anından tekrar geçemez.

Görelilik farklıdır. Newtoncı "zamanda ileri gitmelisiniz" kuralının yerine yenisi konmuştur: Işık hızından daha yavaş hareket etmelisiniz. (Bir foton ya da başka bir kütlesiz parçacık değilseniz, o zaman da uzay boşluğundaysanız, kesinlikle ışık hızında ilerlersiniz. Ve Newton uzay-zamanına dayattığımız, sabit zaman anları olarak eşsiz bir biçimde dilimlenmiş yapının yerine başka türden bir yapı gelir: *ışık konileri*.

Işık konileri kavramsal açıdan hayli basittir. Bir olay, uzay-zamandaki tek bir noktayı alın ve ışığın bu noktadan ya da noktaya doğru girebileceği tüm güzergâhları tasavvur edin; bunlar o olayla bağlantılı ışık konisini tanımlar. Olaydan çıkan farazi ışık ışınları gelecekteki bir ışık konisini tanımlar, olaya yakınsayanlar da geçmişteki bir ışık konisini tanımlar ve ikisini birden kastettiğimizde de yalnızca "ışık konisi" deriz. Işık hızından daha hızlı hareket edemeyeceğiniz kuralı da zaman çizginizin geçtiği tüm olayların ışık konisinin içinde kalmak zorunda olduğu anlamına gelir. Bunu yapan, ışıktan yavaş nesneleri betimleyen zaman

çizgilerine "zamansal" denir; eğer bir şekilde ışıktan hızlı hareket edebilirseniz, sizin zaman çizginiz "uzaysal" olacaktır; çünkü uzayda, zamanda olduğundan daha çok mesafe alacaktır. Tam ışık hızında hareket ediyorsanız, zaman çizginiz hayali bir şekilde "ışıksal" olarak adlandırılacaktır.

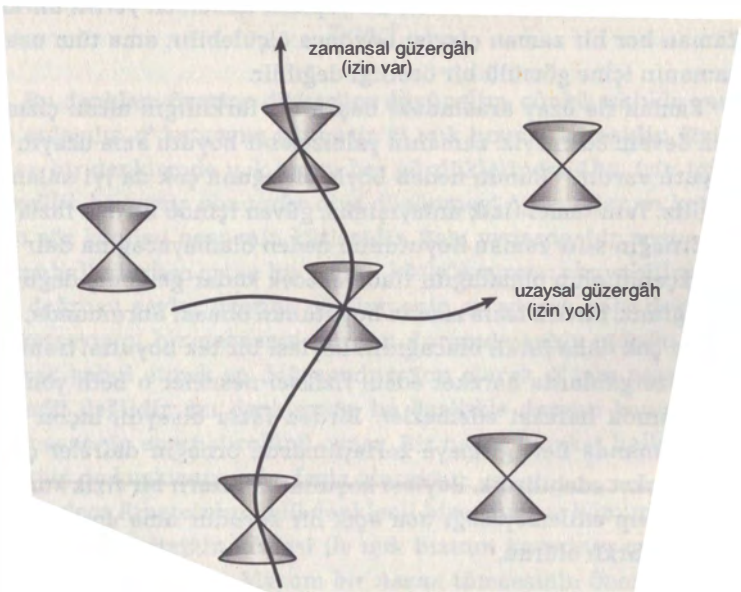


Şekil 14: Belli bir *x* olayı civarında uzay-zaman. Göreliliğe göre, her olay beraberinde, ışığın o noktadan ya da o noktaya doğru girebileceği tüm olası güzergâhlar tarafından tanımlanan bir ışık konisiyle gelir. Işık konisi dışındaki olaylar açık bir şekilde "geçmiş" ya da "gelecek" olarak işaretlenemezler.

Newton uzay-zamanında tek bir olaydan yola çıkıp, tüm olaylar kümesini geçmiş ve gelecek (ve tam yüzeyde yer alan "eşzamanlı" olaylar) olarak ayırarak, tüm evrene eşsiz bir şekilde yayılan bir sabit zaman yüzeyi tanımlayabildik. Görelilikte bunu yapamayız. Bunun yerine, bir olayla bağlantılı ışık konisi uzay-zamanı bu olayın geçmişi (geçmiş ışık konisi içindeki olaylar), bu olayın geleceği (gelecek ışık konisi içindekiler), bizatihi ışık konisi ve ışık konisinin dışında yer alıp ne geçmişte ne de gelecekte bulunan bir grup nokta olarak böler.

İnsanları şaşırtan işte bu son özelliktir. Dünya üzerine istemeden girdiğimiz Newtoncı düşüncede, çok uzaktaki bir olayın bizim zaman çizgimizdeki bir olaya göre ya geçmişte ya gelecekte ya da aynı anda gerçekleştiğinde ısrar ederiz. Görelilikte, uzaysal olarak ayrılmış (biri diğerinin ışık konisinin dışında yer alan) olaylar

için yanıt "hiçbiri" olur. Gerçekten istersek, uzay-zamanı dilimleyen bazı yüzeyler çizip bunları "sabit zaman yüzeyleri" olarak adlandırabiliriz. Bu, Birinci Bölümde ele aldığımız gibi, zamanın uzay-zamandaki bir koordinat olarak tanımından yararlanmak olur. Ama sonuç bizim kişisel seçimimizi yansıtır, evrenin gerçek bir özelliğini değil. Görelilikte, "eşzamanlı uzak olaylar" kavramının bir anlamı yoktur.[15]



Şekil 15: Işık konileri Newton uzay-zamanındaki sabit zaman anlarının yerini alır. Kütleli parçacıkların zaman çizgileri bir olaya geçmiş ışık konisinin içinden gelip, gelecek ışık konisinin içinden gitmelidir – zamansal bir güzergâh. Uzaysal güzergâhlar ışıktan hızlıdır ve dolayısıyla bunlar izinsizdir.

[15] Göreliliği Newtoncı uzay-zamanla ilişkilendirmenin bir yolu, "ışık hızının sonsuz olduğunu" tasavvur etmekten geçer. O zaman çizdiğimiz ışık konileri giderek genişler ve uzaysal bölge Newtoncı düzende olduğu gibi tek bir yüzeye sıkışır. Bu çekici bir görüntüdür, ama çok da saygıdeğer değildir. Bir kere, her zaman için ışık hızı üzerinden birimler belirleyebiliriz; zamanı yıl, uzaklığı da ışık yılı olarak ölçeriz. Böylece yapmaya çalıştığımız, doğanın bütün sabitlerini diğer hızların ışık hızına göre azalacakları şekilde değiştirmektir. Bunu yapsak bile süreç hiç de eşsiz değildir; sınırı nasıl alacağımıza dair öyle bir tercihte bulunmuş oluruz ki, ışık konileri sabit zamanın belli yüzeylerine yakınsamış olur.

Uzay-zamanın Şekil 15'te gösterilen gibi bir planını çizerken, "zaman" adlı bir düşey eksen ve "uzay" adlı bir (ya da iki) yatay eksen çizmek çok çekicidir. Uzay-zaman diyagramımızda bu eksenlerin yokluğu kesinlikle kasıtlıdır. Göreliliğe göre uzay-zamanın bütün anlamı, temelde "zaman" ve "uzay" olarak bölünmemiş olmasıdır. Her olayın erişilebilir geçmiş ve geleceğini sınırlayan ışık konileri, uzay-zamanın zaman ve uzay olarak Newtoncı çözülmesinin üzerine eklenmezler; bu yapının tamamen *yerini alırlar*. Zaman her bir zaman çizgisi boyunca ölçülebilir, ama tüm uzay-zamanın içine gömülü bir özelliği değildir.

Zaman ile uzay arasındaki başka bir farklılığın altını çizmeden devam edemeyiz: zamanın yalnızca bir boyutu ama uzayın üç boyutu vardır.[16] Bunun neden böyle olduğunu çok da iyi anlamış değiliz. Yani temel fizik anlayışımız, güven içinde birden fazla ya da örneğin sıfır zaman boyutunun neden olamayacağına dair bir gerekçenin olup olmadığını ifade edecek kadar gelişmiş değildir. Bildiğimiz, birden fazla zaman boyutunun olması durumunda, yaşamın çok daha farklı olacağıdır. Böylesi bir tek boyutla, (zamansal güzergâhlarda hareket eden) fiziksel nesneler o belli yönden başkasında hareket edemezler. Birden fazla olsaydı, hiçbir şey bizi zamanda ileri gitmeye zorlayamazdı; örneğin daireler çizerek hareket edebilirdik. Böylesi koşullarda tutarlı bir fizik kuramı inşa edilip edilemeyeceği ucu açık bir sorudur ama en azından, her şey farklı olurdu.

EINSTEIN'IN EN ÜNLÜ DENKLEMİ

Einstein'ın özel göreliliğin ilkelerini ortaya koyduğu 1905 tarihli önemli makalesi "Zur Elektrodynamik bewegter Körper" (Hareket Halindeki Cisimlerin Elektrodinamiği [On the Electrodynamics of Moving Bodies]), o zamanların önde gelen Alman bilimsel dergisi *Annalen der Physik* içinde otuz sayfayı kaplamıştı. Kısa süre sonra, iki sayfalık, "Ist die Trägheit eines Körpers von seinem Ener-

[16] Yani uzayın en azından üç boyutu vardır. Uzayın, bir nedenden ötürü, en azından kolayca erişebildiğimiz düşük enerjilerinde bizim göremediğimiz ek boyutlarının var olması muhtemeldir ve kuramsal fizik topluluğunun kimi köşelerinde kesin olduğu savunulur. Ek uzay boyutlarının gizlenebileceği birçok yol vardır; *bkz.* Greene (2000) ya da Randall (2005). Gizli ek zamansal boyutların olması olasılığı daha düşüktür, ama kim bilir.

gieinhalt abhängig?" (Bir Cismin Ataleti Enerji İçeriğine mi Bağlıdır? [Does the Inertia of a Body Depend Upon Its Energy Content?]) başlıklı bir makale yayımladı.[17] Bu makalenin amacı daha uzun çalışmasının bariz ama ilginç bir sonucuna dikkat çekmekti: Durgun konumdaki bir nesnenin enerjisi kütlesiyle orantılıdır. (Kütle ve atalet burada birbirlerinin yerine kullanılmıştır.) Bu, kuşkusuz tarihteki en ünlü denklemin arkasındaki fikirdir;

$$E=mc^2.$$

Bu denklem üzerine dikkatlice düşünelim, çünkü sıklıkla yanlış anlaşılır. c^2 katsayısı şüphesiz ki ışık hızının karesidir. Fizikçiler, bir denklemde ışık hızını her gördüklerinde, *Aha, işin içine görelilik karışmış olmalıdır* diye düşünmeyi öğrendiler. *m* katsayısı söz konusu nesnenin kütlesidir. Bazı yerlerde, bir nesne hareket halindeyken artan bir "göreli kütle" kavramı okuyabilirsiniz. Bu doğrusu şeyler üzerine düşünmenin en yararlı yolu değildir; m katsayısını bir nesnenin durgun durumda sahip olduğu kütle olarak kabul etmek en doğrusudur. Son olarak, *E* tam anlamıyla "enerji" değildir; bu denklemde, bu özellikle durgun konumdaki bir nesnenin enerjisi rolünü oynar. Bir nesne hareket halindeyse, enerjisi de kuşkusuz daha fazla olacaktır.

Böylece Einstein'ın ünlü denklemi bize, durgun konumdaki bir nesnenin enerjisinin kütlesi ile ışık hızının karesinin çarpımına eşit olduğunu söyler. Masum *bir nesne* tümcesinin önemine dikkat edin. Dünyadaki her şey bir nesne değildir! Örneğin evrenin hızlanmasından sorumlu olan kara enerjiden söz etmiştik. Kara enerji görüldüğü kadarıyla bir parçacıklar ya da başka nesneler bütünü değildir; düzgünce uzay-zamanı kaplar. Bu yüzden, kara enerji söz konusu olduğunda, $E=mc^2$ bunlar için geçerli değildir. Benzer şekilde, bazı nesneler (örneğin fotonlar) daima ışık hızında oldukları için, hiç durağan olmazlar. Bu durumlarda, denklem yine geçerli değildir.

Herkes bu denklemin pratik sonuçlarını bilir: Çok küçük miktarda bir kütle bile muazzam miktarda enerjiye eşdeğerdir. (Işık hızı, gündelik birimlerle, gerçekten büyük bir sayıdır.) Birçok

[17] Her ikisi de Einstein (1923) içinde yer alır.

enerji biçimi vardır ve özel göreliliğin bize söylediği, kütlenin de enerjinin alabileceği biçimlerden biri olduğudur. Ama çeşitli biçimler her iki yönde de birbirlerine dönüştürülebilirler ki bu da hep olur. $E=mc^2$'nin geçerliliği nükleer fizik ya da kozmolojiye özel alanlarla kısıtlı değildir; durağan her türlü nesneye uygulanabilir, Mars'ta ya da oturma odanızda olsunlar. Bir kâğıt parçasını alıp yakar, enerjileriyle birlikte fotonların da dağılıp gitmesine neden olursak, arta kalan küllerin (yakalamak için ne kadar özen göstersek bile) orijinal kağıtla yaktığı oksijenin toplamından biraz daha düşük bir kütleleri olur. $E=mc^2$ yalnızca atom bombaları üzerine değildir; etrafımızdaki tüm enerjinin dinamiğinin derin bir özelliğidir.

5
ZAMAN ESNEKTİR

Evrenin ebedi olmasının nedeni, kendisi için yaşamayıp, dönüşürken başkalarına yaşam sağlamasıdır.

-Lao Tzu, *Tao Te Ching*

Özel göreliliğin arkasındaki ilk dürtü, şaşırtıcı bir deney sonucu değildi (ama Michelson-Morley deneyi böyle bir şeydi); evvelce de var olan iki kuramsal çerçeve arasındaki görünürdeki çelişkiydi.[1] Bir yanda fiziğin, sonraki tüm kuramlarının üzerine inşa edildiği parlak bina olan Newton mekaniği vardı. Diğer yanda James Clerk Maxwell'in, on dokuzuncu yüzyılın ortalarında gelen ve etkileyici çeşitlilikte deneysel olguyu açıklayan, elektrik ile manyetizmayı birleştirmesi vardı. Sorun, bu muhteşem başarılı kuramların uyuşmuyor olmasıydı. Newton mekaniği karşılıklı birbirlerinin yanından geçen iki nesnenin göreli hızlarının iki hızın toplamına geldiği sonucunu çıkartıyordu; Maxwell'in elekromanyetizması da ışık hızının bu kuralın istisnası olduğunu. Özel görelilik, mekanik için ışık hızının özel bir rol oynadığı, ama parçacıkların yavaş hareket ettiklerinde Newton'ın modeline indirgenen bir çerçeve sağlayarak iki kuramı tek bir bütünde bir araya getirmeyi başardı.

Dünya görüşündeki birçok dramatik değişmede olduğu gibi, özel göreliliğin zaferinin de bir bedeli oldu. Bu durumda, Newtoncı fiziğin en büyük başarısı –gezegenlerin hareketlerini çok zarif bir kesinlikle açıklayan kütleçekim kuramı– mutlu uzlaşmanın dışında kalmıştı. Elektromanyetizmanın yanında, kütleçekim ev-

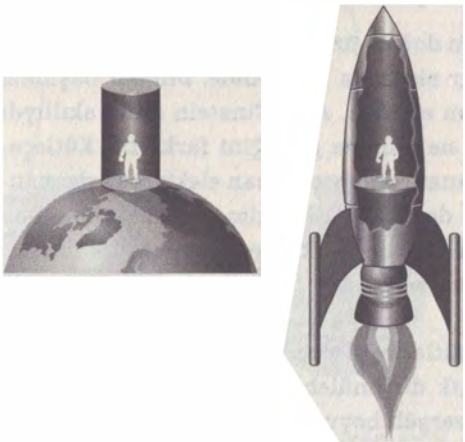
[1] Özel görelilik Newton mekaniği ile Maxwell elektrodinamiğinin uyuşmazlığından doğdu, genel görelilik de özel göreliliğin Newton kütleçekimiyle olan uyuşmazlığından. Şimdi de fizik başka bir sıkıntı verici uyuşmazlıkla karşı karşıya: genel görelilik ile kuantum mekaniği. Hepimiz umut ediyoruz ki günün birinde bir kuantum kütleçekim kuramı içinde birleşecekler. Şu anda öne çıkan aday sicim kuramı, ama daha kesinleşen bir şey yok.

renin en bariz kuvvetiydi ve Einstein bunu göreliliğin lisanına uydurmaya kararlıydı. Orada burada birkaç denklemi değiştirerek Newton'ın denklemlerinin ivme altındaki değişmezlikle uyumlu hale getirilebileceğini beklersiniz, ama bu yöndeki girişimler sinir bozucu şekilde kısa düştüler.

Einstein sonunda, temelde ele aldığımız uzay gemisi düşünce deneyini kullanarak (bu ilk onun aklına gelmişti) parlak bir içgörüye ulaştı. Bu farazi kilitli uzay gemisi içindeki yolculuklarımızı betimlerken, titizlikle herhangi bir kütleçekim alanından uzak olduğumuzu belirtmiştim ki, bir yıldıza düşmemiz ya da robot sondalarımızın yakındaki gezegenlerin çekimiyle yoldan çıkması gibi bir sorunla karşı karşıya kalmayalım. Peki, önemli bir kütleçekim alanının yakınındaysak ne olacak? Uzay gemimizin, örneğin Yerkürenin yörüngesinde olduğunu tasavvur edin. Bu, geminin içinde gerçekleştireceğimiz deneyleri nasıl etkileyecektir?

Einstein'ın yanıtı şuydu: dikkatimizi uzayın görece küçük bölgelerine ve kısa zaman aralıklarında odaklamamız durumunda, hiç etkilemez. İstediğimiz tüm deneyleri gerçekleştirebiliriz –kimyasal tepkimelerin hızlarının ölçülmesi, topların bırakılıp nasıl düştüklerine bakılması, yaylara bağlanmış ağırlıkların gözlenmesi– ve Yerkürenin alçak yörüngesinde dolaşırken, yıldızlararası uzayın derinliklerinde elde ettiklerimizin aynısını elde ederiz. Kuşkusuz, yeteri kadar beklersek, yörüngede olduğumuzu anlarız; burnumuzun ucunda havaya bir kaşık bir de çatal bırakırsak, çatalı da Yerküreye biraz daha yakın tutarsak, çatal Yerkürenin çekimini biraz daha fazla hissedecek ve bu nedenle kaşıktan yavaşça uzaklaşacaktır. Ama böylesi etkilerin birikmesi zaman alacaktır; kendimizi yeterince küçük zaman ve uzay alanlarıyla kısıtlarsak, bizi Yerkürenin yörüngesinde tutan kütleçekim kuvvetinin varlığını ortaya çıkartacak bir deney tasavvur edemeyiz.

Bir kütleçekim alanını saptamanın güçlüğü ile diyelim bir elektrik alanını saptamanın büyük kolaylığını karşılaştırın. Aynı çatalla kaşığı alın, ama bu kez çatala artı, kaşığa da eksi yük yükleyin. Bir elektrik alanın varlığında, karşıt yükler karşıt yönlere itilecektir, bu yüzden yakınlarda bir elektrik alanının varlığını saptamak hayli kolaydır.



Şekil 16: Bir gezegendeki kütleçekim alanı, yerel olarak bir roketin ivmesinden ayırt edilemez.

Kütleçekimin farklılığı, "eksi kütleçekim yükü" diye bir şey olmamasındadır. Kütleçekim *evrenseldir* – her şey buna aynı tepkiyi verir. Dolayısıyla uzayın küçük bir bölümünde, yalnızca uzay-zamanın farklı olaylarındaki nesneler üzerindeki etkiler arasındaki farkla saptanamaz. Einstein bu gözlemi bir doğa yasası düzeyine yükseltmiştir: ***Eşdeğerlik ilkesi*** der ki, hiçbir yerel deney bir kütleçekim alanının varlığını saptayamaz.

Ne düşündüğünüzü biliyorum: "Burada kütleçekimi saptamakta hiçbir zorluk çekmiyorum. Koltuğumda oturuyorum ve odanın içinde havalanmamı engelleyen de kütleçekim." Peki bunun kütleçekim olduğunu nereden biliyorsunuz? Yalnızca dışarı bakıp Yerkürenin yüzeyinde olduğunuzu görerek. Eğer hızlanan bir uzay gemisinin içinde olsaydınız, yine koltuğunuzda aşağıya itilecektiniz. Yıldızlararası boşlukta serbest düşüşte olmak ile Yerkürenin alçak yörüngesinde serbest düşüşte olmak arasındaki farkı saptayamayacağınız gibi, bir uzay gemisinin sabit ivmesi ile bir kütleçekim alanında rahatça oturmak arasındaki farkı da saptayamazsınız. Bu Eşdeğerlik İlkesinin "eşdeğerliğidir:" kütleçekim alanının görünürdeki etkileriyle hızlanan bir gözlem çerçevesinde yaşamak eşdeğerdir. Koltukta oturduğunuzda, hissettiğiniz kütleçekimin değil, altınızdan iten koltuğun kuvvetidir. Genel göreliliğe göre, serbest düşüş hareketin doğal, zorlanmamış halidir ve bizi güzergâhımızdan saptıran da Yerkürenin yüzeyindeki itmedir.

DOĞRU PARÇALARINI BÜKMEK

Siz ya da ben, kütleçekimin doğası üzerine düşünürken Eşdeğerlik İlkesi gibi parlak bir fikir aklımıza geldiğinde, bilgece başımızı sallayıp hayatımıza devam ederdik. Ama Einstein daha akıllıydı ve bu içgörünün aslında ne anlama geldiğini fark etti. Kütleçekim yerel deneylerle saptanamıyorsa, o zaman elektrik ya da manyetizma gibi bir "kuvvet" değildi. Kütleçekim evrensel olduğuna göre, bunu uzay-zamanda yayılan bir kuvvet alanı olarak düşünmektense, bizatihi uzay-zamanın bir özelliği olarak düşünmek daha anlamlı olurdu.

Einstein fark etti ki, kütleçekim özellikle uzay-zamanın eğikliğinin bir tezahürü olarak düşünülebilir. Uzay-zamanın uzayın bir genellemesi ve bir güzergâh boyunca geçen zamanın nasıl da uzay-zamanda katedilen uzaklığın bir ölçüsü olduğu üzerine biraz konuşmuştuk. Ama uzay mutlaka katı, düz ve doğrusal değildir: eğri, esnemiş ve deforme olmuş olabilir. Einstein uzay-zamanın da aynı şekilde olduğunu söyler.

Örneğin bir kâğıt parçası üzerine çizilmiş iki boyutlu uzayı akılda canlandırmak kolaydır. Düz bir kâğıt eğik değildir ve böyle olduğunu ilkokuldan kalma Öklit geometrisinin ilkelerine uyduğu için biliriz. Örneğin başlangıçta birbirine paralel iki doğru parçası ne kesişir ne de birbirlerinden uzaklaşırlar.

Aksine, bir kürenin iki boyutlu yüzeyini düşünün. Önce, bir kürenin yüzeyinde o kadar da bariz olmayan "doğru parçası" mefhumunu genellememiz gerekir. Öklit geometrisinde, lisede de öğrendiğimiz gibi, bir doğru parçası iki nokta arasındaki en kısa uzaklıktır. Biz de benzer bir tanım ilan edelim: eğik bir geometride, bir "doğru parçası" iki noktayı birleştiren en kısa eğridir, bu da bir kürede büyük dairenin* bir parçası olur. Bir kürede başlangıçta paralel iki güzergâh alsak ve bunları büyük daire boyunca uzatsak, sonunda kesişirler. Bu, Öklit geometrisinin ilkelerinin artık geçerli olmadığı anlamına gelir ki bu da bir kürenin geometrisinin eğik olduğunu görmenin başka bir yoludur.

Büyük daire: jeodezik; bir kürenin merkezinden geçen ve küreyi iki eşit parçaya bölen dairelerden biri. Kürenin yüzeyindeki herhangi bir noktadan geçen büyük daire, kürenin yüzeyinde o noktadan geçerek çizilebilecek en büyük dairedir. Bu daire ortodrom ya da Riemann dairesi olarak da adlandırılır –çn.

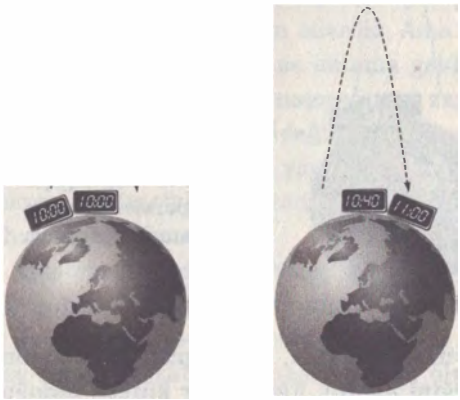


Şekil 17: Düz geometride paralel doğrular sonsuza kadar uzanır; eğik geometride, başlangıçta paralel doğrular sonunda kesişirler.

Einstein dört boyutlu uzay-zamanın, iki boyutlu bir kürenin yüzeyi gibi eğik olabileceğini önerdi. Eğiklik bir kürede olduğu gibi bir noktadan diğerine tekbiçimli olmayabilirdi; bir yerden diğerine büyüklük ve şekil olarak farklı olabilirdi. Çarpıcı nokta da şurada: Bir gezegenin "bir kütleçekim kuvveti tarafından saptırıldığını" gördüğümüzde, Einstein onun aslında bir doğru parçası üzerinde ilerlediğini söyler. En azından, gezegenin içinde hareket ettiği eğik uzay-zaman içinde bir doğru parçası ne kadar doğru olabilirse o kadar. Hızlanmayan bir güzergâhın iki olay arasında bir saatin ölçebileceği en uzun zamanı verdiği içgörüsünden hareketle, uzay-zamanda bir doğru parçası saatteki zamanı en yükseğe çıkartmak için elinden geleni yaptığı çizgidir, tıpkı uzayda bir doğru parçasının bir kilometre saatindeki okumayı en aza indirmek için elinden geleni yaptığı gibi.

Bunu, sözün gelişi, yerküreye indirelim. Birbirleriyle eşzamanlanmış, yerkürenin yüzeyinde duran iki saat düşünelim. Saatlerden biri yerinde dururken, diğerini havaya, çok yükseğe fırlatalım ve geri dönüp düşmesini bekleyelim. (Bu aşırı olanaksız düşünce deneyi için dünyanın dönüşünü yok sayabiliriz, böylece saat fırlatıldığı aynı yere geri dönecektir.) Genel göreliliğin bakış açısından, yukarı çıkıp aşağıya inen saat hızlanmaz; serbest düşüştedir ve uzay-zamanda bir doğru parçasında ilerlemek için elinden geleni yapmaktadır. Bu arada, yerdeki saat hızlanmaktadır – Yerkürenin yüzeyinin onu tutması nedeniyle serbest düşüşü engellenmektedir. Dolayısıyla fırlattığımız saat, yerdeki saate göre daha

uzun bir zamanın geçtiğini deneyimleyecektir – yerdeki hızlanan saate göre, serbest düşüşteki daha hızlı ilerler gibi görünecektir.



Şekil 18: Yerkürenin yüzeyindeki bir saatle ölçülen zaman, havaya atılan saat tarafından ölçülene göre daha kısa olacaktır, çünkü yerdeki saat hızlandırılmış (serbest düşüşte olmayan) bir güzergâhta ilerlemektedir.

Uzaya sık sık saatler fırlatıp yere düşmelerini beklemiyoruz. Ama yüzeyde, uydulardaki saatlerle düzenli bir şekilde sinyal alışverişinde bulunan saatler var. Bu örneğin modern otomobillerin gerçek zamanlı yön talimatları vermesine yardımcı olan Küresel Konumlama Sisteminin (Global Positioning System, GPS) ardındaki temel mekanizmadır. Kişisel GPS alıcınız Yerküre yörüngesindeki bir dizi uydudan sinyaller alır ve farklı sinyaller arasındaki zamanı karşılaştırarak yerinizi belirler. Eğer genel göreliliğe bağlı kütleçekimsel zaman genişlemesi hesaba katılmış olmasaydı, bu hesaplar raydan çıkardı; GPS uyduları yörüngede, yerdekine göre günde 38 milisaniye fazla deneyimlerler. Gerçekte benimsenen çözüm, alıcınıza genel görelilik denklemleri öğretmektense, uydulardaki saatlerin, yerkürenin yüzeyinde doğru zamanı göstereceklerinden biraz daha yavaş ilerlemelerini sağlamak olmuştur.

EINSTEIN'IN EN ÖNEMLİ DENKLEMİ

Söylendiğine göre, her denklem kitabınızın satışını yarıya düşürürmüş. Bu sayfanın, insanlar satın almadan göremeyecekleri kadar derine gömülmüş olduğunu umuyorum, çünkü başka bir denklem gösterme dürtüsüne dayanamadım: Einstein'ın genel görelilik için alan denklemi.

$$R_{\mu\nu} - (1/2)\, R\, g_{\mu\nu} = 8\, \pi\, G\, T_{\mu\nu}$$

Bu, "Einstein'ın denklemi" dediğinizde fizikçilerin aklına gelecek olan denklemdir; şu $E=mc^2$ meselesi alt bir konudur, daha geniş bir ilkenin özel durumudur. Tersine bu, fiziğin derin bir yasasıdır: Evrendeki maddenin uzay-zamanı nasıl büktüğünü ve dolayısıyla kütleçekime neden olduğunu açıklar. Denklemin her iki tarafı da yalnızca sayılar değil, *tensörlerdir* – aynı anda olan birçok şeyi yakalayan geometrik nesneler. (Bunları 4x4 sayı dizilimleri olarak düşünürseniz, doğruya bir hayli yaklaşmış olursunuz.) Denklemin sol yanı uzay-zamanın eğikliğini niteler. Sağ yanı da uzay-zamanı eğik kılan bütün çeşitli biçimleri – enerji, atalet, basınç vb. Einstein'ın denklemi, amansız bir vuruşla evrendeki herhangi bir parçacıklar ve alanlar topluluğunun uzay-zamanda belli bir eğikliği nasıl yarattığını ortaya çıkartır.

Isaac Newton'a göre, kütleçekimin kaynağı kütledir; daha ağır nesneler daha büyük kütleçekim alanları yaratır. Einstein'ın evreninde, işler biraz daha karmaşıktır. Kütlenin yerini enerji alır ama uzay-zamanın eğikliğine neden olan başka özellikler de vardır. Örneğin Vakum enerjisinde yalnızca enerji değil, *gerilim* de vardır – bir tür eksi basınç. Gerilmiş bir sicim ya da lastikte gerilim vardır, iteceğine, çeker. Vakum enerjisinin varlığıyla evrenin hızlanmasına neden olan, enerji ile gerilimin birleşik etkisidir.[2]

Enerji ile uzay-zamanın eğikliğinin karşılıklı etkilerinin dramatik bir sonucu vardır: genel görelilikte, enerji korunmaz. Alandaki uzmanların hepsi bu görüşe katılmaz, kuramın öngördükleri üzerine bir anlaşmazlık olduğundan değil, "enerji" ve "sakınım" ifadelerinin nasıl tanımlanacağı konusunda insanlar anlaşamaz. Newtoncı mutlak uzay-zamanda, bireysel nesneler için iyice tanımlanmış bir enerji mefhumu vardır, bunları toplayıp evrenin toplam enerjisini bulabiliriz ve bu enerji hiç değişmez (zamanın her anında aynıdır). Ama uzay-zamanın dinamik olduğu genel görelilikte, uzay-zamanın hareketleriyle maddeye enerji pom-

[2] Şeyleri bir araya getirmek için çeken gerilimin, evrenin her şeyi birbirinden uzaklaştıran hızlanmasından sorumlu olması çılgınca görünebilir. Önemli olan şu ki kara enerjinin gerilimi uzayın her noktasında eşittir ve tam olarak birbirini götürür, bu yüzden doğrudan bir çekme olmaz. Tersine, elimizde kara enerjinin uzay-zamanın eğikliği üzerindeki dolaylı etkisi kalır. Bu etki evrene sürekli bir itme uygular, çünkü kara enerji yoğunlukları birbirini götürmez.

palanabilir ya da boşaltılabilir. Örneğin vakum enerjisi evren genişlerken yoğunluk olarak mutlak şekilde sabit kalır. Böylece santimetre kübteki enerji miktarı sabit kalırken, santimetre küp miktarı artar – toplam enerji yükselir. Tersine, ışınım egemenliğindeki bir evrende, her foton kozmolojik kırmızıya kayma nedeniyle enerji kaybederken, toplam enerji düşer.

"Kütleçekim alanının enerjisini" ilave ederek enerjinin korunmadığı sonucundan kurtulabileceğimizi düşünebilirsiniz, ama bunun beklediğinizden daha zor olduğu ortaya çıkar – kütleçekimdeki enerjinin iyice tanımlanmış yerel bir tanımı yoktur. (Yerelde kütleçekim alanının saptanamadığını bile düşündüğünüzde, bu çok da şaşırtıcı olmaz.) Kaçınılmazı kabullenip genel görelilikte, bazı özel koşullar dışında enerjinin korunmadığını kabul etmek daha kolay olur.[3] Ama bu kargaşanın dünyayı ele geçirmiş olması gibi bir şey değildir; uzay-zamanın eğikliğine bakarsanız, herhangi bir enerji kaynağının nasıl evrileceğini öngörebiliriz.

UZAY-ZAMANDAKİ DELİKLER

Kara delikler belki de genel göreliliğin en ilginç, dramatik öngörüsüdür. Bunlar genellikle olağan şeylermiş gibi resmedilirler: "Kütleçekim alanının ışığın bile kaçamayacağı kadar büyük olduğu nesneler." Gerçek daha ilginçtir.

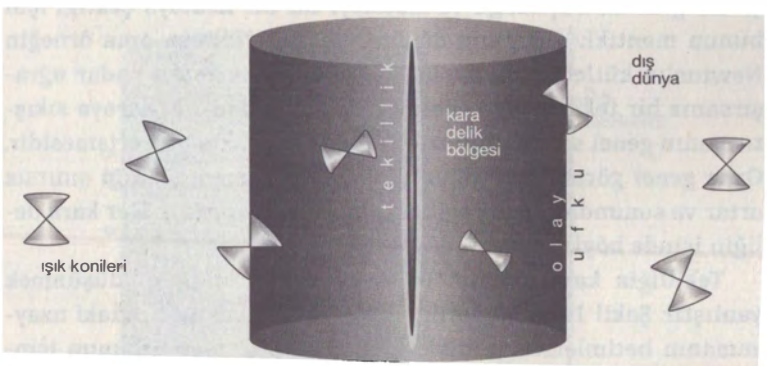
Newton'ın kütleçekiminde bile kurtulma hızı ışık hızından bile yüksek olunca cismin "kara" olacağı kadar kütleli ve yoğun nesneleri düşünmemizi engelleyen bir şey yoktur. Doğrusu, 1783'te Britanyalı jeolog John Michell ve 1796'da Pierre-Simon Laplace gibileri ara sıra bunu düşünmüştür.[4] O sıralarda, ışığın kütleçekim tara-

---

[3] Bu işi düşünmenin başka türlü bir yolu: Newton mekaniğinde enerjinin korunduğu olgusu kuramın altında yatan bir simetrinin yansımasıdır: zaman-öteleme değişmezliği. Parçacıkların hareket ettiği ardalan uzay-zamanı ebediyen sabitlenmiştir. Ama genel görelilikte bu artık doğru değildir; ardalan dinamiktir, şeyleri sağa sola itip kakar, enerjilerini değiştirir.

Bkz. Michell (1784); Laplace'ın denemesi Hawking ve Ellis (1974) içinde bir ek olarak yayımlanmıştır. Ara sıra, kaşlar kalkarak ve anlamlı fısıltılarla, bir "kara yıldızın" Newton kütleçekimine göre hesaplanan yarıçapının, genel görelilikte bir kara deliğin öngörülen Schwarzschild yarıçapıyla ($2GM/c^2$, burada G Newton'ın kütleçekim sabiti, M nesnenin kütlesi, c de ışık hızıdır) tamamen aynı boyda olduğu söylenir. Bu, kesinlikle kaza eseridir, nedeni de G, M ve c birimleriyle bir nicelik yaratmanızın çok fazla yolu olmamasıdır.

fından etkilenip etkilenmediğini hiç kimse bilmediği ve ışık hızı görelilikte edindiği temel önemi henüz kazanmadığı için, bu fikrin akla yatkın olup olmadığı pek açık değildi. Ama daha da önemlisi, "ışık hızından yüksek kurtulma hızı" ve "ışık kurtulamaz" ifadeleri arasındaki görünüşte önemsiz farkta gizli çok büyük bir ayrım vardır. Kurtulma hızı, bir cismin kütleçekim alanından kurtulması için yukarı doğru hareket etmeye başlayan bir nesnenin *sonradan ek bir ivme olmadan* başlangıçtaki hızıdır. Eğer bir beysbol topunu dış uzaya varması umuduyla havaya atarsam, kurtulma hızından daha hızlı atmam gerekir. Ama aynı beysbol topunu bir rokete koyup, kurtulma hızına hiç varmadan kademeli bir şekilde hızlandırmamam için bir neden yoktur. Diğer bir deyişle, fiilen kurtulmak için kurtulma hızına erişmek gerekmez; yeteri kadar yakıtınız varsa, istediğiniz kadar yavaş gidebilirsiniz.



Şekil 19: Işık konileri bir kara deliğin yakınlarında eğilir. Kara deliğin sınırını belirleyen olay ufku, ışıktan hızlı gitmeyen hiçbir şeyin kurtulamayacağı kadar eğildikleri yerdir.

Ama gerçek bir kara delik, genel görelilik tarafından öngörülen haliyle, bundan çok daha dramatiktir. Gerçek bir geri dönülmez bölgedir – bir kez girdiğinizde, elinizde hangi teknoloji harikası olursa olsun, çıkma olasılığı yoktur. Çünkü genel görelilik, Newton'ın kütleçekimi ya da özel göreliliğin tersine, uzay-zamanın eğrilmesine izin verir. Uzay-zamandaki her olayda uzayı geçmiş, gelecek ve ulaşamayacağımız yerler olarak bölen ışık konileri vardır. Ama özel göreliliğin aksine, ışık konileri katı bir sıralanmayla sabitlenmemişlerdir; uzay-zaman madde ve enerjinin etkisi altında

eğrildikçe eğilip gerilirler. Kütleli bir nesnenin yakınında, ışık konileri, şeylerin kütleçekim alanları tarafında çekilme eğilimleriyle uyumlu olarak, nesneye doğru eğilirler. Bir kara delik uzay-zamanın, ışık konilerinin kurtulmak için ışıktan hızlı hareket etmenizi gerektirecek kadar eğildikleri bir bölgesidir. Dildeki benzerliğe karşın, bu "kurtulma hızı ışık hızından daha yüksektir" sözünden çok daha güçlü bir ifadedir. Kara deliği tanımlayan, daha da içerilere gömülmeye mahkûm olacağınız yerlerden kurtulma şansına hâlâ sahip olduğunuz yerleri ayıran sınıra *olay ufku* denir.

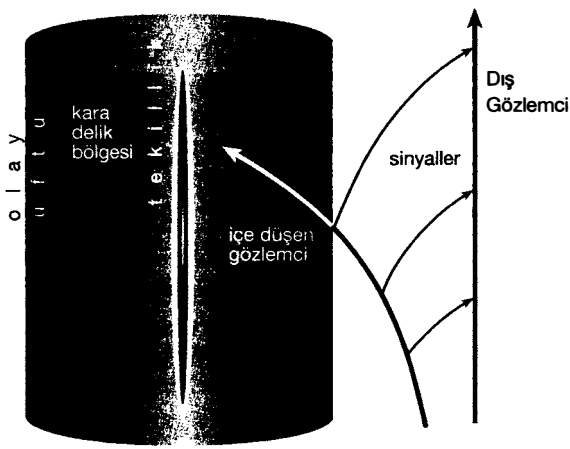
Gerçek dünyada kara delikler birçok yoldan oluşabilir, ama standart senaryo, yeteri kadar kütleli bir yıldızın çökmesidir. 1960'ların sonlarında, Roger Penrose ve Stephen Hawking genel göreliliğin dikkat çekici bir özelliğini kanıtladılar: Kütleçekim alanı yeteri kadar büyürse, bir tekilliğin oluşması *şarttır*.[5] Kütleçekim giderek büyüdüğü ve maddeyi tek bir noktaya çektiği için bunun mantıklı olduğunu düşünüyor olabilirsiniz. Ama örneğin Newton'ın kütleçekiminde, bu doğru değildir. Yeteri kadar uğraşırsanız bir tekillik elde edersiniz, ama maddeyi bir araya sıkıştırmanın genel sonucu bir azami yoğunluk noktasına erişmesidir. Oysa genel görelilikte, yoğunluk ve uzay-zaman eğikliği sınırsız artar ve sonunda sonsuz eğiklikte bir tekillik oluşur. Her kara deliğin içinde böyle bir tekillik yatar.

Tekilliğin kara deliğin "merkezinde" yer aldığını düşünmek yanlıştır. Şekil 19'da gösterilen kara deliğin yakınlarındaki uzay-zamanın betimlemesine dikkatlice bakarsak, olay ufkunun içindeki gelecek ışık konilerinin tekilliğe doğru eğildiğini görürüz. Ama bu ışık konisi o noktadaki gözlemcinin "gelecek" olarak adlandırdığını *tanımlar*. Geçmişteki Büyük Patlama tekilliği gibi, gelecekteki kara delik tekilliği uzayda bir yer değil, zamanda bir andır. Bir kez olay ufkunun içine girdiğinizde, tekilliğin amansız kaderine doğru ilerlemekten başka kesinlikle hiçbir seçeneğiniz kalmaz, çünkü bu zamanda ilerinizde yer alır, uzayda herhangi bir yönde değil. Yarına erişmekten kaçınamayacağınız gibi, tekilliğe çarpmaktan da kaçınamazsınız.

---

[5] Her ne kadar tekilliğe gelindiğinde yerini daha iyi bir kuramın alması gerektiğini biliyorsak da bu bölümün amaçları açısından klasik genel göreliliğin geçerliliğini varsayıyoruz. Bu konuda daha fazla bilgi için, *bkz*. Hawking (1988) veya Thorne (1994).

Fiilen olay ufkunun ötesine düştüğünüzde, bunu fark etmeyebilirsiniz de. Orada, geçerken kara deliğe girdiğinizi gösterecek bir engel ya da bir enerji katmanı yoktur. Yalnızca olası gelecek yaşam seçeneklerinizin azalması vardır; "dış evrene geri dönmek" seçeneği artık mevcut değildir ve "tekilliğe çarpmak" geriye kalan tek olasılıktır. Aslında, kara deliğin kütlesini bilirseniz, tekilliğe erişim varlığınızın sona ermesinden önce (yanınızda götürdüğünüz bir saate göre) tam olarak ne kadar süre geçeceğini hesaplayabilirsiniz; güneşin kütlesine sahip bir kara delik için bu yaklaşık saniyenin milyonda biri kadardır. Bu kasvetli kaderi, örneğin kara delikten uzakta durmak için roketlerinizi ateşleyerek geciktirmek isteyebilirsiniz, ama bu ters etkide bulunur. Göreliliğe göre, ivmesiz hareket iki olay arasındaki zamanı azamileştirir. Debelenerek, yalnızca sonunuzu yaklaştırırsınız.[6]



Şekil 20: Bir nesne olay ufkuna yaklaşırken, uzaktaki bir gözlemciye yavaşlarmış gibi ve giderek daha kırmızıya kaymış olarak görünecektir. Nesnenin zaman çizgisinde ufku geçtiği an, dışarıdan görülebileceği son andır.

İçeri düşen güzergâhınızda, olay ufkunu geçtiğiniz kesin bir an vardır. Dışarıdaki arkadaşlarınıza kesintisiz radyo sinyalleriyle haber verdiğinizi tasavvur edelim, o andan sonra gönderilen

[6] Buradan istediğiniz ahlaki sonucu çıkartmakta serbestsiniz.

sinyalleri hiçbir zaman alamayacaklar. Ama birdenbire yok olduğunuzu da görmeyecekler; aksine, sinyallerinizi giderek daha aralıklı bir şekilde alacaklar, giderek daha uzun dalgalara doğru kırmızıya kayacak. Ufku geçmeden önceki son anınız (ilkesel olarak) dış gözlemcilere göre zamanda donmuş olacak, ama zaman geçtikçe giderek daha soluk ve daha kırmızı olacak.

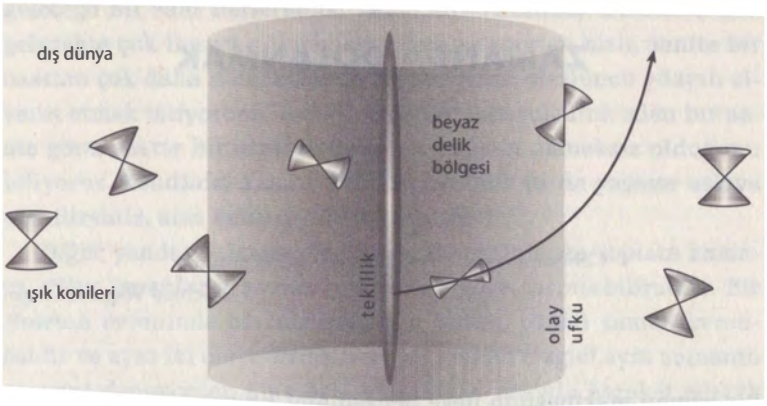
BEYAZ DELİKLER: TERSİNE İŞLEYEN KARA DELİKLER

Bu kara delik öyküsü üzerine biraz düşünürseniz, ilginç bir şey fark edersiniz: zaman asimetrisi. Oraya buraya zamanda yönlülük varsayan bir terminoloji fırlatıp duruyoruz; "olay ufkunu geçtiğinizde, bir daha çıkamazsınız," diyoruz ama "olay ufkundan çıktığınızda, bir daha dönemezsiniz," demiyoruz. Bunun nedeni dikkatsizlikten zamansal olarak asimetrik bir dile kapılmamız değildir; nedeni kara delik mefhumunun içsel olarak zaman asimetrisine sahip olmasıdır. Tekillik açık bir şekilde geçmişinizde değil, geleceğinizdedir.

Buradaki zaman asimetrisi, altında yatan fizik kuramının bir parçası değildir. Genel görelilik kusursuz bir biçimde zamansal açıdan simetriktir; Einstein'ın denklemini çözen her belli uzay-zaman için, zamanın yönünün tersine dönmüş olması dışında aynı olan başka bir çözüm de mevcuttur. Kara delik Einstein'ın denkleminin özel bir çözümüdür, ama diğer yönde giden eşdeğer çözümler de vardır: beyaz delikler

Zamana atıfta bulunan tüm sözcüklerin zamanını tersine çevirirsek, beyaz deliklerin tarifi kara deliklerinkinin aynısıdır. Geçmişte, ışık konilerinin çıktığı bir tekillik vardır. Olay ufku tekilliğin geleceğinde yer alır ve dış dünya bunun geleceğinde yer alır. Ufuk geçmişteki, bir kez çıktığınızda bir daha dönemeyeceğiniz yeri temsil eder.

O zaman, neden hep evrendeki kara deliklerden söz edildiğini duyuyoruz da beyaz deliklerden söz edildiğini hiç duymuyoruz? Bir kere, bir beyaz delik "yapamayacağımıza" dikkat çekerim. Dış dünyada olduğumuza göre, bir beyaz delikle bağlantılı tekillik ve olay ufku mecburen *geçmişimizdedir*. Bu yüzden konu bir beyaz delik yaratmak için ne yapmamız gerektiği değildir; birini bulursak, evrenin başlangıcından beri orada olmuş olacaktır.



Şekil 21: Beyaz deliğin uzay-zamanı, kara deliğin zamanda tersyüz edilmiş bir sürümüdür.

Ama doğrusu, biraz daha dikkatli düşünürsek, bu "yapmak" sözcüğünden kuşku duymalıyız. Tersinir fizik yasalarının egemenliğindeki bir dünyada, neden geleceğe doğru giden şeyleri "yapmayı" düşünüyoruz da geçmişe uzananları düşünmüyoruz? Özgür iradeye inanmamızı sağlayan aynı nedenle: geçmişteki düşük entropili sınır koşulu dramatik bir tarzda ne olmuş olabileceğini kısıtlar, halbuki gelecek için buna bağlı sınır koşullarının bulunmaması olabilecekleri görece açık bırakır.

Bu yüzden, "Neden bir kara delik yapmak görece normal gözükürken, beyaz delikler zaten evrende var olduklarını göreceğimiz bir şeydir?" diye sorduğumuzda, yanıtın kendiliğinden ortaya çıkması gerekir: çünkü bir kara delik, onu yapacağımız malzemeden daha fazla entropiye sahip olma eğilimindedir. On İkinci Bölümde göreceğimiz gibi, entropinin ne olacağını fiilen hesaplamak, Hawking ışınımını da işin içine sokan karışık bir iştir. Ama kilit nokta, kara deliklerde çok entropi olduğudur. Kara deliklerin kütleçekim ile entropi –zaman okunun nihai açıklamasındaki can alıcı öneme sahip iki bileşen– arasındaki en güçlü bağlantıyı oluşturduğu görülmüştür.

6
ZAMANDA DOLANMAK

Görüyorsun oğlum, burada zaman uzaya dönüşür.
-Richard Wagner, *Parsifal*

Bir zaman makinesinin neye benzediğini herkes bilir: buhar makinesine benzeyen, kırmızı kadife koltuğu, yanıp sönen ışıkları ve arkasında dev gibi döner bir tekerleği olan bir kızak. Daha genç kuşaktan olanlar için, güçlendirilmiş, paslanmaz çelik bir spor otomobil de iş görür; Britanyalı okurlar 1950'lerin tarzında bir Londra polis telefonu kulübesini düşünebilir.[1] Nasıl çalıştıkları modelden modele değişir, ama zamanda yolculuk ettiğinizde, makine gösterişli bir şekilde ortadan kaybolup, muhtemelen birkaç binyıl geçmişte ya da gelecekte belirecektir.

Gerçekte bu böyle olmayacaktır. Hem de zamanda yolculuğun olanaksız ve tüm bunların da aptalca olduğu için değil; zamanda yolculuğun mümkün olup olmadığı sandığınızdan daha fazla tartışmaya açık bir sorudur. Zamanın bir şekilde uzay gibi olduğunu vurgulamıştım. Buradan, bir deli mucidin laboratuvarında çalışan bir zaman makinesine denk gelirseniz, bunun sadece bir "uzay makinesine" benzeyecek olduğu sonucu çıkıyor – sizi bir yerden diğerine götürmek üzere tasarlanmış bir tür olağan araç. Gözünüzde bir zaman makinesi canlandırmak isterseniz, bir roket ateşlemeyi düşünün, bir duman bulutunda kaybolmayı değil.

Peki zamanda yolculuk yapmak ne gerektiriyor? İlgi çekmesi olası iki durum var: geleceğe gitmek ya da geçmişe gitmek. Geleceğe gitmek kolay: koltuğunuzda oturmayı sürdürün. Her saat,

---

[1] Şüphesiz ki, sırasıyla H. G. Wells'in *Zaman Makinesi*'nin 1960'ta George Pal tarafından gerçekleştirilen sinema sürümünü, Robert Zemeckis'in 1985 tarihli filmi *Geleceğe Dönüş*'ü ve uzun süreli BBC dizisi *Doctor Who*'yu kastediyorum.

geleceğe bir saat ilerlersiniz. "Ama," diyeceksiniz, "bu sıkıcı. Ben gelecekte çok ileriye gitmek istiyorum, gerçekten hızlı, saatte bir saatten çok daha hızlı. Yemekten önce yirmi dördüncü yüzyılı ziyaret etmek istiyorum." Ama sizinle birlikte yolculuk eden bir saate göre, saatte bir saatten hızlı ilerlemenin olanaksız olduğunu biliyoruz. Kendinizi kandırabilir, uyuyabilir ya da yaşamı askıya alabilirsiniz, ama zaman yine de geçecektir.

Diğer yandan, zaman çizginizde deneyimlenen toplam zamanı, diğer insanların zaman çizgilerine göre çarpıtabilirsiniz. Bir Newton evreninde bu bile mümkün olmaz, çünkü zaman evrenseldir ve aynı iki olayı birleştiren her zaman çizgisi aynı zamanın geçişini deneyimler. Ama özel görelilikte, uzayda hareket ederek geçen zamanı etkileyebiliriz. İvmesiz hareket bize olaylar arasında en uzun zamanı verir; bu yüzden, eğer geleceğe (sizin perspektifinizden) hızla gitmek istiyorsanız, sadece uzay-zamanda hayli doğru-dışı bir güzergâhta hareket etmeniz gerekir. Bir rokete binip, ışık hızına çıkıp geri dönebilirsiniz ya da yeterince yakıtınız varsa, uzaydaki başlangıç noktanızdan hiç uzaklaşmadan çok yüksek hızda daireler çizebilirsiniz. Durup uzay geminizden çıktığınızda, başınızın dönüyor olmasının dışında, "geleceğe yolculuk etmiş olursunuz;" daha doğrusu, geride kalanlara göre kendi zaman çizginizde daha az zaman deneyimlemiş olursunuz. Geleceğe yolculuk etmek kolaydır ve oraya daha hızlı varmak yalnızca bir teknoloji sorunudur, fiziğin temel yasalarıyla çelişen bir şey değil.

Ama geri dönmek isteyebilirsiniz ki sorun da işte burada başlar. *Geçmişe* yolculuk etmeyi düşündüğümüzde, zaman yolculuğunda sorunlar ortaya çıkar.

UZAY-ZAMANDA HİLE YAPMAK

Süpermen filmlerini seyrederken alınan dersler bir yana, zamanda geriye gitmek Yerkürenin dönüşünü tersine döndürme meselesi değildir. Bizatihi uzay-zamanın da işbirliğinde bulunması gerekir. Şüphesiz ki hile yapıp, ışıktan hızlı hareket etmezseniz.

Newton evreninde, zamanda geri gitmek kesinlikle söz konusu değildir. Zaman çizgileri eşsiz bir şekilde birbirine eşit zamanlı üç boyutlu anlara bölünmüştür ve çiğnenemeyecek tek kural da hiçbir zaman geri dönüp geçmişe dönemeyecekleridir. Özel göre-

lilikte de işler daha iyi değildir. Evrende "eşit zaman anları" tanımlamak hayli keyfidir ama her olayda ışık konilerinin dayattığı kısıtlamalarla karşı karşıya kalırız. Olağan malzemeden yapılmışsak ve her olaydan ileriye, kendi ışık konimize hareket etmekle kısıtlıysak, zamanda geri gitme umudumuz yoktur; uzay-zaman diyagramında, durmak bilmeden yukarı gitmeye mahkûm oluruz.

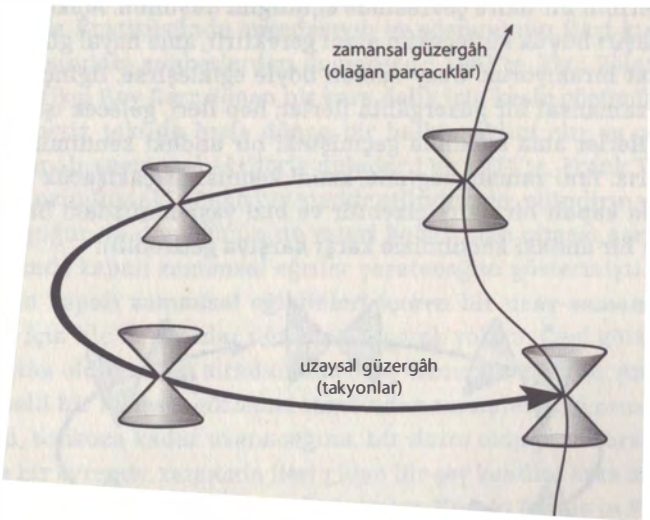
Olağan dışı malzemeden yapılmışsak işler biraz daha ilginç hale gelir. Özellikle takyonlardan –hep ışıktan hızlı hareket eden parçacıklar– yapılmışsak. Ne yazık ki takyonlardan yapılmadık ve takyonların mevcut olmadığına inanmamızı gerektiren güçlü kanıtlar da var. Olağan parçacıkların aksine, takyonlar hep ışık konisinin dışında hareket etmeye zorlanırlar. Özel görelilikte, ışık konisinin dışına her çıktığımızda, başka birisinin bakış açısından zamanda da geriye gitmiş oluruz. Daha da önemlisi, görelilikte ışık konileri uzay-zamanda tanımlanmış yegâne yapıdırlar; ayrı bir "zamanın bir anındaki uzay" mefhumu yoktur. Bu yüzden bir parçacık bir anlığına yer aldığınız bir olayda başlayıp (ışıktan hızlı hareket ederek) ışık koninizin dışına hareket ederse, sizin bakış açınıza göre geçmişe doğru da hareket edebilir. Bunu durduracak bir şey yoktur.

Dolayısıyla takyonlar görünürde korkutucu ve öngörülemez bir şey yaparlar: olağan (ışıktan yavaş) bir nesnenin zaman çizgisindeki uzaydaki bir nokta ve zamandaki bir anla tanımlanan bir olaydan "başlayıp" onları aynı zaman çizgisinde yer alan *önceki* bir noktaya götüren bir güzergâhta yol alabilirler. Takyon yayan bir el feneriniz varsa, (ilkesel olarak) karmaşık bir aynalar sistemi inşa ederek mors koduyla geçmişinize sinyaller gönderebilirsiniz. Önceki benliğinizi o sefer o restorandaki karidesi yememesi, işyerindeki o çılgınla buluşmaması ya da birikimlerinizi belli bir şirkete yatırmaması yolunda uyarabilirsiniz.

Zamanda geriye yolculuk olasılığı paradoks olasılığını da akla getirir ki, bu rahatsız edicidir. Bundan kurtulmanın ucuz bir yolu vardır: takyonların muhtemelen var olmadığına dikkat edin ve fizik yasalarıyla uyuşmadıklarını ilan edin.[2] Bu hem verimli hem de

[2] Öykümüzü sürdürmek açısından, takyonlar konusunda tamamen dürüst davranmıyoruz. Işıktan hızlı giden nesneleri kabul etmek, paradokslara kapı açar, ama bu mutlaka bizi bu kapıdan geçmeye zorlamaz. Takyonlara yer açan ama bunu sadece kendi kendisiyle tutarlı bir şekilde yapan modeller

doğrudur, en azından özel görelilik söz konusu olduğunda. Eğik uzay-zaman işin içine girdiğinde, olaylar daha da ilginç hale gelir.



Şekil 22: Takyonlar var olsalardı, olağan nesneler tarafından üretilip geçmişte alınmak üzere yayılabilirlerdi. Güzergâhı üzerindeki her olayda, takyonlar ışık konisinin dışında hareket ederler.

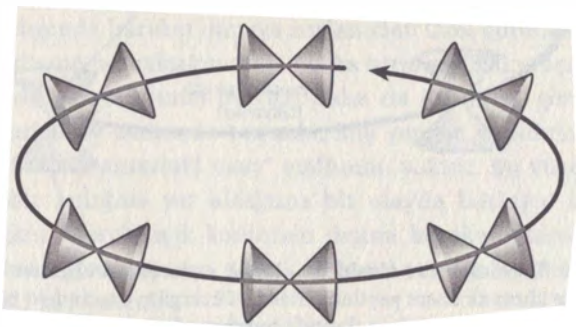
ZAMANDA DAİRELER

Biz, takyondan yapılmamış olanlar için uzay-zamandaki güzergâhlarımız ışık hızı tarafından sınırlandırılmıştır. Halihazırdaki konumumuzu hangi olay belirliyorsa, biz oradan mutlaka "zamanda ileriye," ışık konimizin içerisindeki başka bir olaya doğru hareket ederiz – teknik dilde söylersek, uzay-zamanda zamansal bir güzergâhta hareket ederiz. Bu, evrenin yalnızca yakın çevremizdeki yerlerinin özellikleriyle ilgili yerel bir gerekliliktir. Ama genel görelilikte, uzay-zaman eğrilmiştir. Bu da yakın çevremizdeki ışık konilerinin uzaktakilere nazaran eğilmiş olabileceği anlamına geliyor. İşte kara deliklere neden olan da bu tür eğilmeler.

---

tasavvur edebiliriz. Bu konudaki bazı tartışmalar için *bkz.* Feinberg (1967) veya Nahin (1999). İşleri daha da karmaşıklaştıran, kuantum alan kuramında "takyon" sözcüğünün sıklıkla, hiçbir şeyin ışıktan hızlı hareket etmediği bir alanın anlık istikrarsızlık durumu için kullanılmasıdır.

Ama ışık konilerinin bir tekilliğe doğru içeriye eğilip bir kara delik yaratacağına, ışık konilerinin Şekil 23'te olduğu gibi zaman konilerinin bir daire çevresinde eğildiğini düşünün. Açıkça bu bir çeşit aşırı büyük kütleçekim alanı gerektirir, ama hayal gücümüzü serbest bırakıyoruz. Uzay-zaman böyle eğikleşirse, ilginç bir şey olur: zamansal bir güzergâhta ilerler, hep ileri, gelecek ışık konimize ilerler ama sonunda geçmişteki bir andaki kendimizle karşılaşırız. Yani zaman çizgimiz, kendi kendisiyle çakışacak şekilde uzayda kapalı bir daire çizebilir ve bizi yaşamımızdaki bir anda başka bir andaki kendimizle karşı karşıya getirebilir.



Şekil 23: Eğik uzay-zamanda, bir daire çevresinde kapalı zamansal eğriler çizen ışık konileri tasavvur edebiliriz.

Böylesi –yerel perspektiften hep ileri giden ama geçmişte kendisiyle çakışmayı başaran– bir zaman çizgisi bir *kapalı zamansal eğridir*, yani KZE (CTC, closed timelike curve). Genel görelilikte "zaman makinesinden" söz ederken aslında kastettiğimiz budur. Kapalı zamansal eğride fiilen ilerlemek uzay-zamanda, bir uzay gemisiyle ya da daha sıradan bir şeyle –hatta belki de koltuğunuzda "hareketsiz" oturarak– olağan yolculukla ilgilidir. Sizi kendi geçmişinizle temas durumuna sokan bizatihi uzay-zamanın eğikliğidir. Bu genel göreliliğin, daha sonra evrenin kökenine ve entropi sorununa geri döndüğümüzde önemli olacak merkezi özelliğidir: uzay-zaman burada değişmez biçimde bağlanmış değildir, madde ve enerjinin etkilerine tepki olarak değişebilir (hatta yok olup yeniden ortaya çıkabilir).

Genel görelilikte kapalı zamansal eğriler içeren uzay-zamanlar bulmak zor değildir. Daha 1949'da matematikçi ve mantıkçı

Kurt Gödel, Einstein'ın denklemine her olaydan geçen kapalı zamansal eğriler içeren "döner" bir evren betimleyerek bir çözüm bulmuştu. Gödel, Einstein'ın geç yıllarında, Princeton'daki İleri Araştırma Enstitüsünde arkadaşıydı ve çözümünün fikri kısmen ikisi arasındaki sohbetlerden doğmuştu.[3] 1963'te, Yeni Zelandalı matematikçi Roy Kerr dönen bir kara delik için kesin çözümü buldu; ilginçtir, tekillik hızla dönen bir halka şeklini alır ve çevresi de kapalı zamansal eğrilerle doludur.[4] Ve 1974'te, Frank Tipler sonsuz uzunluktaki dönen bir madde silindirinin, silindirin yeteri kadar yoğun ve dönüşünün de yeteri kadar hızlı olması şartıyla, çevresinde kapalı zamansal eğriler yaratacağını göstermişti.[5]

Ama kapalı zamansal eğiklikleri içeren bir uzay-zaman inşa etmek için hiç de o kadar uğraşmaya gerek yoktur. Özel görelilikten aşina olduğumuz, sıradan düz uzay-zamanı düşünün. Ama bu kez (belli bir ivmesiz gözlemci tarafından tanımlanmış) zamansal yönün, sonsuza kadar uzanacağına, bir *daire* olduğunu farz edin. Böyle bir evrende, zamanda ileri giden bir şey kendini arka arkaya evrenin tarihindeki aynı ana gelmiş bulur. Harold Ramis'in *Bugün Aslında Dündü* (*Groundhog Day*) adlı filminde, Bill Murray'nin canlandırdığı karakter her sabah bir gün önce yaşadığı durumun

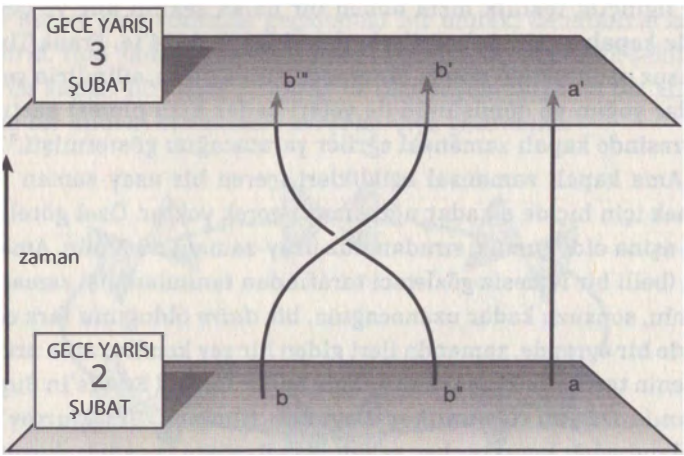
---

[3] Gödel (1949). Kapsamlı ders kitapları *Gravitation* (1973) için araştırma yaparken, Charles Misner, Kip Thorne ve John Wheeler genel görelilik üzerine konuşmak amacıyla Gödel'i ziyaret etmişlerdi. Ama Gödel'in onlara sormak istediği, güncel astronomik gözlemlerin evrendeki genel bir dönüş konusunda bir ipucu sağlayıp sağlayamadığıydı. Çözümünün gerçek dünya için geçerliliği konusuna ilgi duymayı sürdürüyordu.

Kerr (1963). Kerr çözümü genel görelilik üzerine bütün modern ders kitaplarında ele alınır, popüler düzeyde de Thorne (1994) içinde ele alınmıştır. Thorne, Kerr'in çözümünü birinci Texas Symposium on Relativistic Astrophysics sırasında nasıl sunduğunun, ama yıldızsılar (kuasar) konusunda tartışmakla meşgul olan astrofizikçiler tarafından tamamen (bazen de kabaca) görmezden gelindiğinin öyküsünü anlatır. Doğrusunu söylemek gerekirse, Kerr çözümü bulduğunda, bunun Einstein'ın denklemine döner bir çözüm olduğunu bilmesine karşın, bir kara delik olduğunu takdir etmemişti. Daha sonraları, astrofizikçiler yıldızsıların gücünün Kerr'in uzay-zamanı tarafından betimlenen döner kara delikler tarafından sağlandığını anlayacaklardı.

Tipler (1974). Uzay-zamanın sonsuz bir silindir çevresindeki eğikliği için çözüm aslında 1937'de Hollandalı fizikçi (ve bombardıman uçağı pilotu) Willem Jacob van Stockum tarafından bulunmuştu, ama van Stockum çözümünün kapalı zamansal eğriler içerdiğini fark etmedi. Genel görelilikte zaman makineleri üzerine her iki araştırmanın ve zaman yolculuğunun kurguda ortaya çıkışının mükemmel bir incelemesi Nahin (1999) içinde bulunabilir.

tamamen aynısını yaşar. Bizim de burada tasavvur ettiğimiz dairesel-zaman evreni bunun gibi bir şeydir, iki istisnayla: Birincisi her gün, başroldekinin eylemleri de içinde olmak üzere gerçekten diğerlerinin aynısı olacaktır. İkincisi de kaçış olmayacaktır. Özellikle, Andie MacDowell'ın aşkını kazanmak sizi kurtarmayacaktır.



Şekil 24: Düz uzay-zamanda iki farklı an belirlenerek inşa edilmiş bir dairesel-zaman evreni. İki kapalı zamansal eğri gösterilmiştir: Biri, (a) ile (a') arasında bir kez, diğeri de (b), (b'), (b'') ve (b' '') arasında iki kez geçerek çevrimi tamamlar.

Dairesel-zaman evreni yalnızca sinema yapımcıları için eğlenceli bir oyun alanı değildir; bu Einstein'ın denkleminin tam çözümüdür. Biliyoruz ki ivmesiz bir gözlem çerçevesi seçerek, dört boyutlu düz uzay-zamanı üç boyutlu eşit zaman anları halinde "dilimleyebiliriz." Böyle iki dilim alın: diyelim ki 2 Şubat gece yarısı ve 3 Şubat gece yarısı – zamanda bütün evrene yayılan iki an (düz uzay-zamanın bu özel durumunda, bu belli gözlem çerçevesinde). Şimdi yalnızca iki dilim arasındaki bir günlük uzay-zamanı alıp kalan her şeyi atın. Nihayet, başlangıç zamanını nihai zaman olarak *belirleyin*. Yani bir zaman çizgisi 3 Şubatta belli bir noktayla her kesiştiğinde, anında 2 Şubata geri dönüp uzayda aynı noktada belirir. Özünde bu bir kâğıt parçasını büküp karşı kenarları birleştirerek bir silindir oluşturmakla aynı şeydir. Her olayda, farklı dilimleri belirlediğimiz gece yarısında bile her şey

gayet pürüzsüz ve uzay zaman da düz görünür – zaman bir dairedir ve bir daire üzerindeki hiçbir nokta bir diğerinden farklı değildir. Uzay-zaman, Şekil 24'te gösterildiği gibi, kapalı zamansal eğrilerle doludur. Bu gerçekçi bir evren olmayabilir, ama sadece genel göreliliğin kurallarının kapalı zamansal eğrilerin varlığını engellemeyeceğini gösterir.

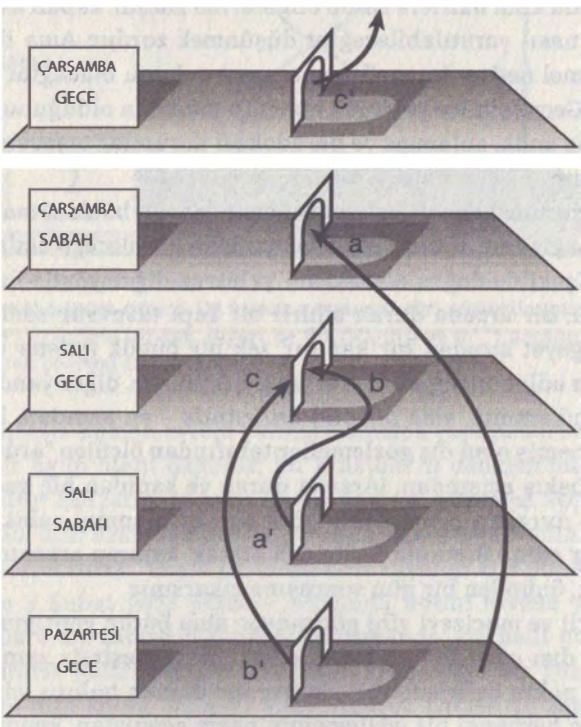
DÜNE AÇILAN KAPI

İnsanların zaman yolculuğu konusunda bir an düşündükten sonra bunu "Ciddi Araştırma" değil de "Bilimkurgu" başlığı altında sınıflandırmaları için iki ana neden vardır. Birincisi bazılarının bu konuda kimi fikirlere sahip olmalarına karşın, kapalı zamansal eğrinin nasıl yaratılabileceğini düşünmek zordur. Ama ikinci ve daha temel neden, bu mefhumun nasıl anlamlı olacağını görmek zordur. Geçmişimize yolculuk etmenin mümkün olduğunu düşündüğümüz anda, anlamsız ve paradoksal durumlar tasavvur etmek kolay olur.

Fikirlerimizi somutlaştırmak açısından, şu basit zaman makinesi örneğini ele alalım: Düne açılan kapı. ("Geleceğe açılan kapı" da aynı şekilde doğru olacaktır – yalnızca diğer yönde ilerleyin.) Dışarıda, bir arsada duran sihirli bir kapı tasavvur edelim. Her açıdan gayet sıradan bir kapıdır, tek bir büyük istisna dışında: "ön" diye adlandırdığımız taraftan geçtiğinizde, diğer yandan aynı arsaya çıkarsınız, ama *bir gün öncesinde* – en azından, kapıdan hiç geçmemiş olan dış gözlemciler tarafından ölçülen "ardalan saatinin" bakış açısından. (Arsada duran ve kapıdan hiç geçmeyen, arsanın durağan çerçevesine göre eşzamanlanmış sabit saatler tasavvur edin.) Bununla bağlantılı olarak, kapının arkasından girerseniz, önünden bir gün sonrasına çıkarsınız.

Sihirli ve mucizevi gibi görünüyor, ama bütün yaptığımız belli bir sıra dışı uzay-zaman betimlemek; uzayda eşitsiz zamanlarda bir dizi nokta belirledik. Hiç kimse bir duman bulutu içinde yok olmuyor; herhangi bir gözlemcinin bakış açısından, kendi zaman çizgileri kesintisiz bir şekilde geleceğe doğru, saniye saniye ilerliyor. Kapının önünden içeri baktığınızda, kapkara bir siyahlık ya da uçuşan çılgınca renkler görmüyorsunuz; diğer taraftaki arsayı görüyorsunuz, herhangi bir kapıdan baktığınızda gördüğünüz

gibi. Tek fark, ***dün*** nasıl görünüyorsa onu görüyorsunuz. Kapının yanından bir göz attığınızda, arsayı bugün görüyorsunuz, kapıdan baktığınızda da bir gün öncesini. Benzer şekilde, diğer tarafa dolanıp kapıdan geriye baktığınızda, arsanın öte yanını görüyorsunuz, ama yarın nasıl görünecekse öyle görüyorsunuz. Kapıdan öte tarafa geçip hemen geri dönmenizi, bunu istediğiniz kadar tekrarlamanızı ya da bir ayağınız bir yanda, diğer ayağınız öte yanda durmanızı engelleyen bir şey yok. Bunu yaptığınızda herhangi bir gıdıklanma hissetmiyorsunuz; her şey tamamen normal gözüküyor, yalnızca bir yandaki hassasiyetle ayarlanmış saat, diğer yandakine göre bir gün sonrasını gösteriyor.



Şekil 25: Düne açılan kapı, bir olası zaman çizgisi gösteriyor. Bir yolcu kapının sağdaki önünden (a) girip arkasından, bir gün geçmişten (a') çıkıyor. Kişi kapının civarında yarım gün dolaştıktan sonra yeniden önden giriyor (b) ve bir gün öncesinde çıkıyor (b') sonra kişi bir gün bekliyor, kapının arka tarafından giriyor (c) ve bir gün gelecekte çıkıyor (c').

Düne açılan kapı uzay-zamanı belli ki kapalı zamansal eğriler içeriyor. Zamanda bir gün geri gitmek için tek yapmanız gereken kapının önünden girip, sonra kapının diğer yanına, önüne dolanıp orada sabırla beklemek. Bir gün geçince, kendinizi (kendi belirlemenize göre) bir gün önceki durumunuzla uzay-zamandaki aynı yer ve zamanda bulursunuz – ve kuşkusuz, önceki durumunuzu da orada görürsünüz. İsterseniz, önceki benliğinizle şakalaşabilir, geçen günün nasıl olduğu üzerine sohbet edebilirsiniz. Bu kapalı bir zamansal eğridir.

Burada paradokslar devreye girer. Her nedense, fizikçiler düşünce deneylerini olabildiğince şiddetli ve ölümcül yapmayı severler; Schrödinger ve zavallı kedisini düşünün.[6] Zaman yolculuğuna gelindiğinde, standart senaryo geçmişe geri dönüp büyükbabanızı büyükannenizle karşılaşmadan önce öldürmeyi tasavvur etmekten oluşur. O zaman paradoks barizdir: eğer büyükbabanız ile büyükanneniz hiç tanışmadılarsa, nasıl olur da geri dönüp onlardan birini öldürmek üzere siz doğabildiniz?[7]

O kadar da dramatik olmamız gerekmez. İşte paradoksun daha basit ve daha barışçıl bir sürümü. Kapıya, dünden yaklaşıyor ve orada, şimdi olduğunuzdan bir gün daha yaşlı gözüken bir sürümünüzü bekler buluyorsunuz. Kapalı zamansal eğrilerden haberiniz olduğu için çok da şaşırmıyorsunuz; belli ki kapıdan geçtikten sonra orada oyalanmış, kendinizin önceki sürümüyle el sıkışmak üzere beklemişsiniz. Böylece her iki sürümünüz şakalaşır ve siz de diğer sürümünüzü geride bırakıp kapının önünden bir gün öncesine geçiyorsunuz. Ama kapıdan geçtikten sonra, sırf aksilik olsun diye programa uymamaya karar veriyorsunuz. Daha genç sürümünüzle karşılaşmak üzere orada takılacağınıza, uzak-

---

[6] Kuantum mekaniğinin öncülerinden Erwin Schrödinger, kuantum üst üste binmesinin garip doğasını göstermek için ünlü bir düşünce deneyi önermişti. Belli bir zaman aralığında %50 olasılıkla bozunup kutunun içine zehirli gaz boşaltacak bir düzeneği harekete geçirecek radyoaktif bir kaynak içeren kapalı bir kutuya bir kedi yerleştirmeyi tasavvur etmişti. Kuantum mekaniğinin geleneksel görüşüne göre, elde edilen sistem, birisi kediyi gözlemleyene kadar eşit "canlı kedi" ve "ölü kedi" varsayımları içerecektir; tartışması için, *bkz.* 11. Bölüm.

Kip Thorne "büyükbaba" paradoksunun biraz münasebetsiz olduğunu düşünür, babaerkil olması bir yana, bir nesil de atlanmıştır. "Anneyi öldürme" paradoksunu düşünmemizi önerir.

laşıyor, bir taksiye atlayıp havaalanına gidiyor ve bir uçağa binip Bahamalar'a gidiyorsunuz. En başta kapıdan geçen sürümünüzle hiç karşılaşmıyorsunuz. Ama sizin o sürümünüz kendisinin gelecekteki bir sürümüyle karşılaştı – gerçekten de bu karşılaşmanın anısı hâlâ aklınızda. Ne oluyor?

BİR BASİT KURAL

Olası tüm zaman yolculuğu paradokslarını çözen basit bir kural var.[8] Şöyle:

Paradoks oluşmaz.
Daha da basit olamaz.

Şu anda, bilim insanları aslında fizik yasaları üzerine, makroskobik kapalı zamansal eğrilere yer verip vermediğini söylemeye yetecek kadar çok şey bilmiyorlar. Vermiyorlarsa, zaten belli ki endişelenmeye gerek yoktur. Daha ilginç bir soru, kapalı zamansal eğrilerin mutlaka paradokslara neden olup olmayacağıdır. Oluyorlarsa, var olamazlar, bu kadar.

Ama belki de olmuyorlardır. Mantıksal çelişkilerin olamayacağı konusunda hemfikiriz. Özellikle de ele aldığımız klasik düzenekte (kuantum mekaniğine göre olanın aksine[9]). "Uzay-zamandaki bu belli olayın yakınında ne oldu?" sorusunun bir tek doğru yanıtı vardır. Uzay-zamanın her parçasında bir şeyler olur – bir kapıdan geçersiniz, yalnız başınasınızdır, birisiyle karşılaşırsınız, bir şekilde hiç gelmezsiniz, her neyse. Ve ne olmuşsa olmuştur ne oluyorsa oluyordur ve ne olacaksa olacaktır, şimdi ve her zaman.

---

[8] Bu kural bazen ilke düzeyine yükseltilir; *bkz.* Novikov (1983) ya da Horwich (1987) içindeki tartışmalar. Hans Reichenbach (1958) ve Hilary Putnam (1962) gibi filozoflar da, uzay-zamandaki olaylar kendi içlerinde tutarlı oldukları sürece kapalı zamansal eğrilerin paradoksların ortaya çıkmasını gerektirmediğini vurgulamışlardır. Doğrusu, sağduyu bunu gerektirir. Gerçek dünyada paradoksların olmadığı açıktır; ilginç soru, doğanın bunlardan nasıl kaçındığıdır.

11. Bölüm içinde kuantum mekaniğini ele alırken bu ifadeye biraz geri döneceğiz. Kuantum mekaniğinde, gerçek dünya birden fazla klasik tarih içerebilir. David Deutsch (1997) birinde Buz Çağında olduğunuz, diğerinde de olmadığınız iki tarihi (ve sonsuz sayıda başkalarını) dahil ederek çoklu tarihlerden yararlanabileceğimizi önermiştir.

Belli bir olayda büyükbabanız ile büyükanneniz karşılaşmışsa, o olayda bu olmuştur. Bunu değiştirmek için yapabileceğiniz bir şey yoktur, çünkü olmuştur. Olağan, kapalı zamansal eğrilerin olmadığı uzay-zamanda geçmişteki olayları değiştiremediğiniz gibi, kapalı zamansal eğrilerin olduğu bir uzay-zamanda da değiştiremezsiniz.[10]

Tutarlı öykülerin, kapalı zamansal eğrilerin bulunduğu uzay-zamanlarda bile mümkün olduğu açıkça bilinmelidir. Şekil 25'te zamanda iki kez geriye doğru sıçrayan sonra da sıkılıp yoluna devam etmeden önce bir kez ileriye atlayan gözüpek bir serüvencinin zaman çizgisi anlatılır. Bunda paradoks yaratacak bir şey yoktur. Önceki kesimin sonundaki senaryonun paradoks oluşturmayan bir sürümünü de kolaylıkla tasavvur edebiliriz. Kapıya yaklaşır, orada sizi bekleyen daha yaşlı bir sürümünüzle karşılaşırsınız; şakalaşır sonra da kapının önünden girip düne geçerken onu orada bırakırsınız. Ama inatla uzaklaşacağınıza, bir gün daha bekleyip, daha genç bir sürümünüzle karşılaşır ve yolunuza gitmeden önce onunla şakalaşırsınız. Herkesin her olayı tamamen tutarlı olur.

Çok daha dramatik ama yine de tutarlı öyküler olabilir. Kapının muhafızı olarak atandığımızı tasavvur edin, işimiz de uyanık olup kapıdan geçenlere mukayyet olmak. Bir gün, bir yanda beklerken, kapının arkasından bir yabancının belirdiğini görürüz. Bu şaşırtıcı olmaz; bu sadece yabancının yarın kapının ön yüzünden gireceği ("Girmiş olduğu?" – dilimiz zaman yolculuğuyla başa çıkmaya yeterli zaman kiplerine sahip değil) anlamına gelir. Ama dikkatli nöbetinizi sürdürürken, kapıdan çıkan yabancının yalnızca bir gün etrafta oyalandığını ve tam yirmi dört saat geçtikten son-

[10] *Geleceğe Dönüş* belki de tüm zamanların en olmayacak zaman yolculuğu filmidir. Marty McFly 1980'lerden 1950'lere gider ve sağda-solda geçmişi değiştirmeye koyulur. Daha da kötüsü, sözde zaten gerçekleşmiş olaylara her müdahale ettiğinde, bu değişikliklerin dallanıp budaklanmaları "anında," Marty'nin yanında taşıdığı aile fotoğrafında bile geleceği etkiler. Bu "anında" mefhumunun mantıklı bir şekilde nasıl savunulabileceğini tasavvur etmek güçtür. Her ne kadar belki olanaksız olmasa da – olağan zamanın özelliklerinin birçoğuna sahip olan ek bir boyutun varlığını varsaymak ve bunun aracılığıyla Marty'nin bireysel bilincinin eylemlerinin etkisiyle iletildiğini düşünmek gerekir. Buralarda bir yerlerde güzel bir doktora tezi olabilir: "*Geleceğe Dönüş* vb'de Tutarlı Bir Zaman ve Hatıra Ontolojisine Doğru." Ama bunun hangi bölümün alanına gireceğini bilemedim.

ra da sakince kapının önünden girdiğini görürsünüz. Başka bir yerden kimse yaklaşmamıştır – giren ve çıkan yabancılar kapalı bir çevrim oluşturmuştur ve bu yirmi dört saat yabancının tüm ömrünü oluşturmuştur. Bu size garip ve olanaksız gibi görünür, ama burada paradokslu ya da mantıken tutarsız bir şey yoktur.[11]

Sorulması gereken soru şudur: Sorun çıkartmaya çalışırsak, yani planı uygulamayı reddedersek ne olur? Kapının önünden girip zamanda geriye sıçramadan önce kendinizin daha yaşlı bir sürümüyle karşılaştığınız öyküde, can alıcı nokta, öte tarafa geçtiğinizde bir *seçeneğinizin* var gibi olmasıdır. İtaatkâr bir şekilde görünürdeki kaderinizi gerçekleştirir ya da uzaklaşarak sorun çıkartabilirsiniz. Seçeneğiniz bu olursa, sizi ne durdurabilir? Paradokslar işte burada ciddileşmeye başlar.

Yanıtın ne olduğunu biliyoruz: Bu olamaz. Kendinizin daha yaşlı bir sürümüyle karşılaştıysanız, mutlak metafizik kesinlikle daha yaşlı benliğine yaşlandığınızda, daha genç benliğinizle orada karşılaşacağınızı biliyoruz. Sorunlu insanları problemden çıkartıp basit cansız nesneleri, diyelim ki kapıdan geçen bir dizi bilardo topunu ele aldığımızı tasavvur edin. Uzay-zamandaki çeşitli olaylar içinde gerçekleşebilecek birden fazla tutarlı şeyler kümesi olabilir.[12] Tutarlı öyküler gerçekleşir; tutarsız olanlar değil.

ENTROPİ VE ZAMAN MAKİNELERİ

İşin esasına girersek, bizi endişelendiren husus fizik yasalarıyla ilgili değildir, özgür irademizdir. Kaderimizde yapmak istemediğimiz bir şeyi yapmanın yazılı olmadığına dair güçlü bir duyguya sahibizdir; bunu yaptığımızı evvelce yaşadıysak, bu sürdürmesi zor bir duygudur.

Özgür irademizin fizik yasalarına boyun eğmek zorunda olduğu zamanlar vardır. Bir gökdelenin en üst katındaki pencereden

---

[11] Kapalı zamansal eğrilerin varlığındaki tutarlı tarihler konusunda az çok sonsöz Robert A. Heinlein'ın öyküsünde söylenmiştir: "All You Zombies" (Siz, Tüm Zombiler) (1959). Bir dizi zaman sıçraması ve bir cinsiyet değiştirme ameliyatı sonunda, öykünün baş kahramanı kendi babası, annesi ve yine kendisinin Zamansal Kuvvetlerde kayıt görevlisi olmayı başarır. Ama öykünün bağımsız bir kapalı çevrim olmadığına dikkat edin; karakter geleceğe doğru yaşlanır.
Bu konuda bir tartışma için, *bkz.* Friedman vd (1990).

dışarı fırlatılırsak, uçup güvenle bir yerlerde yere inmeyi ne kadar arzularsak arzulayalım, yere çakılmayı bekleriz. Böylesi bir kaderi kabul etmeye hazırız. Ama kapalı zamansal eğrilerin söz konusu olduğu daha karmaşık olan türleri, uzay-zamandaki tutarlı bir tarihin gelişiminin başka koşullarda mümkün olacak seçimleri özgür irademizle yapmamızı engeller gibi olduğu durumlar sıkıntı verir. Şüphesiz ki biz kendini adamış belirlenimciler (deterministler) olabiliriz ve bedenlerimizdeki ve dış dünyadaki tüm atomların, Newton'ın hareket yasalarının sapmaz komutlarıyla paradoksları engellemek üzere bizi tam da gerekli şekilde davranmaya zorlayacak şekilde fesat kurduklarını tasavvur edebiliriz, ama bu bir şekilde kendimiz hakkındaki düşüncelerimizle farklılık gösterir.[13]

Sorunun esası şudur ki, kapalı zamansal eğrilerin varlığında, tutarlı bir zaman oku olamaz. "Geçmişi anımsar, geleceği anımsamayız," ifadesi, genel görelilikte, "Geçmiş ışık konimizde ne olduğunu anımsar, gelecek ışık konimizdekileri anımsamayız," haline gelir. Ama bir kapalı zamansal eğride hem geçmiş ışık konimizde hem de gelecek ışık konimizde olan uzay-zaman olayları vardır, çünkü bu koniler çakışır. Peki bu olayları anımsar mıyız, anımsamaz mıyız? Bir kapalı zamansal eğri boyunca gerçekleşen olayların fiziğin mikroskobik yasalarıyla uyumlu olduğunun güvencesini verebiliriz, ama genelde bunlar eğri boyunca entropinin kesintisiz artışıyla uyuşamaz.

Bu noktayı vurgulamak üzere, kapıdan çıkan farazi yabancıyı düşünün, bir gün sonra diğer tarafından giriyor böylece tüm yaşam öyküsü sonsuz sayıda tekrarlanan günlük çevrimlerden oluşuyor. Çevrimin bir noktada "başladığını" varsayarsak, bir an durup bu işi kotarmak için gerekli ince hassasiyet düzeyini düşünün. Yabancı, bir gün sonra, geçmişteki benliğiyle buluşmasının düzgün bir şekilde gerçekleşmesi için bedenindeki tek bir atomun bile kesinlikle doğru yerde olduğunu güvenceye almak zorunda-

[13] Aslında, biz kendini adamış belirlenimcileriz. İnsanlar fizik yasalarına sıkı sıkıya uyan parçacıklar ve alanlardan oluşur ve ilkesel olarak (ama şüphesiz uygulamada değil) insan olduğumuzu unutup kendimizi karmaşık temel parçacık derlemeleri olarak ele alabiliriz. Ama bu, kapalı zamansal eğrilerin varlığında özgür irade sorununun ne kadar da garip olduğuyla yüzleşmekten kaçınmamız gerektiği anlamına gelmez.

dır. Örneğin yaşamının bir gün öncesinde orada olmayan bir tek toz zerresinin bile giysilerinde birikmemesini, sindirim sisteminin içeriğinin kesinlikle aynı olmasını ve saçı ile tırnaklarının kesinlikle aynı uzunlukta olmasını sağlamalıdır. Bu İkinci Yasayı kesinlikle çiğnemiyorsa bile (çünkü yabancı kapalı bir sistem değildir) –muhafazakâr bir ifadeyle– entropinin nasıl yükseldiği üzerine deneyimimizle uyumsuz haldedir. Ona katılacağımız yerde önceki varlığımızla yalnızca el sıkışırsak, gerekli hassasiyet o kadar da dramatik değilmiş gibi gözükür; ama her iki durumda da doğru zamanda doğru yerde olmamız gerektiği konusundaki ısrar, gelecekteki olası eylemlerimizin üzerinde çok keskin kısıtlamalar koyar.

Özgür irade kavramımız, geçmişin taşa yazıldığı ama geleceğin elimizde olduğu fikriyle yakından ilişkilidir. Fizik yasalarının ilkesel olarak evrenin bazı belli durumlarının gelecekteki evrimini kusursuz bir sadakatle belirlediğine inanıyor olsak da bu durumun ne olduğunu bilmiyoruz ve gerçek dünyada entropinin artışı bir dizi olası gelecekle uyumludur. Kapalı zamansal eğrilerin varlığındaki tutarlı evrimin görünüşte akla getirdiği türden kader, tam da evrende gerçekten düşük entropili bir gelecek sınır değerlerinin, yalnızca daha yerel bir düzeyde var olması durumunda gerçekleşecek olanla aynıdır.

Diğer bir deyişle: kapalı zamansal eğriler var olsaydı, varlıklarında tutarlı evrim bize bir filmin tersten oynatılması ya da entropinin düştüğü herhangi başka bir örneğin olacağı kadar garip ve doğa-dışı görünecekti. Bu olanaksız değildir; yalnızca olasılığı çok düşüktür. Bu yüzden, ya kapalı zamansal eğriler var olamaz ya da büyük makroskobik şeyler uzay-zamanda gerçekten kapalı zamansal güzergâhlarda yolculuk edemezler – ya da termodinamik üzerine bildiğimizi sandığımız her şey yanlıştır.

ÖNGÖRÜ VE GARİPLİK

Bir kapalı zamansal eğride yaşamın kaderi iç karartıcı düzeyde belirlenmiş gibidir: Bir sistem bu tür bir kapalı döngü üzerinde hareket ediyorsa, tam olarak başladığı duruma geri dönmesi gerekir. Ama dışarıda duran bir gözlemcinin bakış açısından, kapalı zamansal eğriler aynı zamanda görünürde tam tersi bir so-

run doğurur: böylesi bir eğri boyunca olanlar, evrenin bir önceki durumundan eşsiz olarak kestirilemez. Yani bir kapalı zamansal eğri boyunca evrimin tutarlı olması gerektiği doğrultusunda çok güçlü kısıtlarımız vardır, ama çok sayıda olanaklı tutarlı evrim vardır ve fizik yasaları hangisinin fiilen gerçekleşeceği konusunda çaresiz görünür.[14]

Yalnızca halihazırdaki anın gerçek olduğunu savunan şimdici evren görüşü ile evrenin tüm tarihinin aynı düzeyde gerçek olduğu ebediyetçi ya da blok-evren görüşü arasındaki tezattan söz etmiştik. Hangisinin gerçeğin daha verimli bir sürümü olduğu üzerine ilginç bir felsefi tartışma vardır; ama bir fizikçi için bunlar birbirlerinden neredeyse ayırt edilemez. Alışıldık düşünce tarzında, fizik yasaları bir bilgisayar gibi işler: girdi olarak şu andaki durumu verirsiniz ve yasalar size çıktı olarak bir an sonraki (ya da istersek, önceki) durumun ne olacağını verir. Bu süreci birçok kez tekrarlayarak, evrenin tüm öngörülen tarihini baştan sona oluşturabiliriz. Bu anlamda, şimdi üzerine eksiksiz bilgi, tüm tarih üzerine eksiksiz bilgi anlamına gelir.

Kapalı zamansal eğriler, basit bir düşünce deneyinin göstereceği gibi, bu programı olanaksız kılar. Kapıdan geçip dün beliren ardından bir gün sonra diğer yana atlayıp kapalı bir döngü oluşturan yabancıya dönelim. Daha önceki bir zamanda evrenin durumundan böyle bir yabancının varlığını öngörmenin bir yolu yoktur. Diyelim ki belli bir anda kapalı zamansal eğrileri olmayan bir evrende başladık. Fizik yasaları varsayıldığına göre, o anın geleceğinde ne olacağını öngörmemize izin verir. Ama birisi kapalı zamansal eğriler yaratırsa, bu becerimiz kaybolur. Bir kez kapalı zamansal eğriler oluşturulursa, esrarengiz yabancılar ve başka rastgele nesneler tutarlı bir şekilde bunların çevresinde ortaya çıkıp yolculuk edebilir ya da etmez. Yalnızca önceki bir zamanda evrenin durumunu bilmekle, ne olacağını öngörmek olanaksızdır.

---

[14] Bu fizikçilerin aslında kanıtlayabileceğinden biraz daha kesin gibi görünür. Gerçekten de bazı aşırı basitleştirilmiş vakalarda geleceğin, kapalı zamansal eğrilerin varlığında bile geçmişe bakarak kestirilebileceğini gösterebiliriz; *bkz.* Friedman ve Higuchi (2006). Daha gerçekçi karmaşıklıkta modellerde bunun geçerli olmayacağı (hiç olmazsa bana) daha olası görünüyor; ama kesin bir yanıt kümesi henüz elde edilemedi.

Diğer bir deyişle, istediğimiz kadar kapalı zamansal eğrilerin varlığında olanların tutarlı olduğunda –paradoksların olmadığında– ısrarcı olalım. Bu geleceğin *öngörülebilmesi*, fizik yasaları ve evrenin bir andaki durumu bilinerek belirlenebilir olması için yeterli değildir. Gerçekten de kapalı zamansal eğriler "zamanın bir anında evrenin" tanımının yapılabilmesini olanaksız hale getirebilir. Önceki uzay-zaman tartışmamızda, dört boyutlu uzayı, eksiksiz kümesi zaman koordinatının farklı değerleriyle işaretlenen üç boyutlu "zaman anlarına" "dilimlememize" olanak tanınması can alıcı önemdeydi. Ama kapalı zamansal eğrilerin varlığında uzay-zamanı böyle bölmemiz genellikle mümkün olmaz.[15] Yerel olarak –herhangi belli bir olayın yakınında– uzay-zamanın ışık konileri tarafından tanımlanan "geçmiş" ve "geleceğe" bölünmesi tamamen normaldir. Küresel olarak, evreni tutarlı bir şekilde zaman anlarına bölemeyiz.

Dolayısıyla kapalı zamansal eğrilerin varlığında "belirlenimcilik" kavramını –evrenin herhangi bir anındaki durumunun diğer bütün anlardaki durumunu belirleyeceği fikrini– terk etmemiz gerekir. Belirlenimciliğe, bu çatışmanın kapalı zamansal eğriler olasılığını tamamen terk etmemizi gerektireceği kadar değer veriyor muyuz? Şart değil. Fizik yasalarının formüle edilebileceği başka bir yol tasavvur edebiliriz – şimdiki andan hareketle bir sonraki anı hesaplayan bir bilgisayar olarak değil, bir bütün olarak evrenin tarihine dayatılmış bir koşullar kümesi olarak. Bu koşulların ne olacağı açık değildir, ama saf düşünce adına bu fikri reddedemeyiz.

Tüm bu tereddütler yakışıksız görünebilir, ama önemli bir dersi yansıtır. Zaman anlayışımızın bir bölümü mantığa ve bilinen fizik yasalarına dayanır, ama bir bölümü tamamen uygunluğa ve mantıklı görünen varsayımlara dayanır. Geleceği şimdiki durum üzerine bilgiden hareketle eşsiz bir şekilde belirleme becerisinin önemli olduğunu *düşünüyoruz*, ama gerçek dünya başka türlü düşünüyor olabilir. Kapalı zamansal eğriler var olabilirse, ebedi-

[15] Kapalı zamansal eğrilerin varlığında bile uzay-zamanı dilimlememiz mümkün *olabilir* – örneğin bunu basit dairesel-zaman evreninde yapabiliriz. Ama bu çok özel bir durumdur ve kapalı zamansal eğrilerin var olduğu daha tipik bir uzay-zamanda tüm evreni tutarlı bir biçimde kapsayan bir dilimleme bulmak mümkün olmaz.

yetçilik ile şimdicilik arasındaki tartışma için kesin bir yanıtımız olacak: çünkü kapalı zamansal eğriler ortalıkta dolaşırken, evren güzelce bir dizi "şimdi"ye bölünemeyeceği gibi apaçık bir nedenle, ebediyetçi blok evren kolaylıkla kazanacaktır.

Kapalı zamansal eğrilerin ortaya attığı bilmecenin nihai yanıtı muhtemelen basitçe var olmadıkları (ve olamayacakları) yolundadır. Ama bu doğruysa, nedeni dedelerinizi öldürmenize izin vermeleri değil, fizik yasalarının uzay-zamanı bunları yaratacak kadar çarpıtmanıza izin vermeyeceğidir. Bu yüzden, fizik yasalarına dönmeliyiz.

DÜZÜLKE

Kapalı zamansal eğriler zamanın doğasını incelemek için ilginç bir düşünce-deneyi laboratuvarı sağlar. Ama bunları ciddiye alacaksak, gerçek dünyada, hiç olmazsa genel göreliliğin kurallarına göre var olup olamayacaklarını sormalıyız.

Einstein'ın denklemine, kapalı zamansal eğriler içeren bir avuç çözümden söz etmiştim – dairesel-zaman evreni, Gödel evreni, döner bir kara deliğin tekilliğinin yakınındaki iç bölge ve dönen sonsuz bir silindir. Ama bütün bunlar bir zaman makinesi "inşa etmenin" ne anlama geleceğine ilişkin fikrimiz için eksik kalır – hiç olmadıkları yerde kapalı zamansal eğriler yaratmak. Dairesel-zaman evreni, Gödel evreni ve döner silindir durumlarında, kapalı zamansal eğriler en baştan evrenin içinde yaratılmışlardır.[16] Gerçek soru, uzay-zamanın yerel bir bölgesinde kapalı zamansal eğriler yapıp yapamayacağımızdır.

Dönüp Şekil 23'e bakarsak, bu çözümlerin hepsinin neden bir tür dönüş içerdiğini görmek kolaydır – ışık konilerini eğmek

[16] İstisna, şüphesiz ki, döner kara deliktir. Döner bir yıldızın çökmesiyle böylesi bir deliğin yaratılmasını tasavvur edebiliriz, ama farklı bir sorun çıkar: Kapalı zamansal eğriler olay ufkunun arkasında saklıdır bu yüzden dış dünyayı kesinlikle arkamızda bırakmadan fiilen oraya gidemeyiz. Bölümün ilerilerinde bunun bir kaçış kapısı görevi görüp göremeyeceğini ele alacağız. Belki de daha önemlisi, Kerr tarafından bulunan ve bir döner kara deliği betimleyen çözüm yalnızca uzay-zamanda mutlak şekilde hiç maddenin bulunmadığı ideal durumda geçerlidir; tek başına bir kara deliktir, bir yıldızın çökmesiyle oluşan değil. Genel görelilikteki uzmanların çoğunluğu gerçek dünyadaki bir çöken yıldızın hiçbir zaman, olay ufkunun gerisinde bile kapalı zamansal eğrilere yol açmayacağına inanır.

yeterli olmaz; bir dairenin çevresinde eğilmelerini istiyoruz. Bu yüzden, oturup bir kapalı zamansal eğrinin nasıl yapılacağını tahmin edeceksek, döner bir şeyi düşünmeye başlamamız gerekir – sonsuz bir silindir ya da kara delik olmasa da belki çok uzun bir silindir ya da çok kütleli bir yıldız. İki dev kütleyle başlayıp muazzam göreli hızlarla birbirlerinin yanından fırlatırsak, daha da çok enerji elde ederiz. Ve sonra, şansımız varsa, bu kütlelerin kütleçekim kuvveti çevrelerindeki ışık konilerini kapalı zamansal eğri oluşturacak kadar çarpıtacaktır.

Bu size biraz gevşek görünebilir ve gerçekten de hemen bir sorunla karşılaşırız: Genel görelilik karmaşıktır. Yalnızca kavramsal olarak değil, teknik olarak da; uzay-zamanın eğriliğini belirleyen denklemleri çözmek, herhangi bir gerçek-dünya durumunda muazzam zordur. Kuramın kesin öngörüleri üzerine bildiklerimiz büyük ölçüde durağan bir yıldız ya da tamamen pürüzsüz bir evren gibi çok fazla simetriye sahip büyük ölçüde ideal vakalardan elde edilmiştir. Işık hızına yakın hızlarda birbirlerinin yanından geçen iki kara deliğin neden olduğu uzay-zaman eğikliğini belirlemek, (her ne kadar sistemler hızla ilerlese de) şu andaki becerilerimizin ötesindedir.

Dramatik basitleştirme ruhuyla, iki kütleli nesne birbirlerinin yanında yüksek göreli hızda, ama *uzay-zamanda yalnızca üç boyutlu* bir evrende geçerse ne olur diye sorabiliriz. Yani dört boyutlu uzay-zamanımızdaki uzayın üç boyutu ve zamanın bir boyutu yerine, uzayda iki boyut olduğunu düşünelim, böylece toplamda üç boyut olur.

Basitlik uğruna uzayın bir boyutunu atmak saygıdeğer bir harekettir. Edwin A. Abbott, *Flatland* (*Düzülke*) adlı kitabında,* üç boyuttan fazlasının da olabileceği fikrini tanıtmak, bu arada da Victoria dönemi kültürünü de alaya alma fırsatını da kullanmak amacıyla iki boyutlu uzayda yaşayan varlıklar tasarlamıştı.[17] Abbott'un terimlerini kullanıp iki uzay ve bir zaman boyutu olan evrene, aslında düz olmasa da "Düzülke" diyeceğiz – uzay-zamanın eğri olduğu, ışık konilerinin eğilebildiği ve zamansal eğrilerin de kapalı olabileceği vakalarla ilgileniyoruz.

---

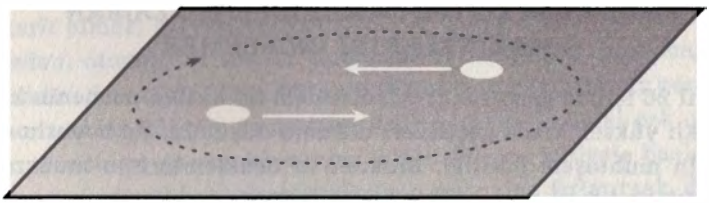
* *Düzülke*, çev. Hasan Fehmi Nemli, Alfa Yayıncılık (2015) –çn.

Abbot (1899); aynı zamanda ***bkz.*** Randall (2005).

DÜZÜLKE'DE (VE CAMBRIDGE'TE) ZAMAN MAKİNELERİNİ İNCELEMEK

Şekil 26 içinde gösterilen, Düzülke'deki iki kütleli nesnenin karşılıklı yüksek hızda geçtikleri durumu düşünün. Üç boyutlu evrenin muhteşem özelliği, Einstein'ın denklemlerinin muazzam basitleşmesi ve gerçek dört boyutlu dünyada olanaksız karmaşıklıktaki bir problemin artık kesinlikle çözülebilir olmasıdır. 1991'de, astrofizikçi Richard Gott kolları sıvadı ve bu durumdaki uzay-zaman eğriliğini hesapladı. Dikkat çekici bir şekilde, Düzülke'de birbirlerinin yanından geçen kütleli nesnelerin, yeterince hızlı hareket etmeleri koşuluyla kapalı zamansal eğrilere yol açabileceklerini buldu. İki cismin herhangi bir kütle değeri için, Gott çevredeki ışık konilerini zaman yolculuğu olasılığını mümkün kılacak kadar eğmek için hangi hızda hareket etmeleri gerektiğini hesapladı.[18]

[18] Özgün makale: Gott (1991); o aynı zamanda bu konuda popüler düzeyde bir kitap da yazdı (2001). Bu çalışma üzerine okuyacağınız hemen hemen bütün çalışmalarda, "Düzülke'de hareket eden kütleli cisimlerden" değil, "dört boyutlu uzay-zamanda hareket eden kusursuz düzlükte, paralel kozmik sicimlerden" söz edilir. Çünkü iki durum kesinlikle eşdeğerdir. Bir kozmik sicim erken evrenin farazi bir kalıntısıdır, mikroskobik düzeyde ince olabilir ama kozmolojik uzaklıklara uzanabilir; idealleştirilmiş bir sürümü kusursuz düzlükte olur ve sonsuza kadar uzanır, ama gerçek dünyada kozmik sicimler karmaşık şekillerde eğilip bükülür. Ama böyle bir sicim kusursuz düz olsaydı, bu sicim boyunca hiçbir şey uzay-zamanın yönüne bağlı olmayacaktı; teknik açıdan, tüm uzay-zaman bu sicim boyunca hem ötelemelere hem de itelemelere göre değişmeyecektir. Bu da fiilen, sicim boyunca yönün kesinlikle önemsiz olduğu anlamına gelir ve bunu görmezden gelebiliriz. Eğer bu boyutu unutursak, üç boyutlu uzayda sonsuz uzunluktaki bir sicim iki boyutlu uzayda bir nokta parçacıkla eşdeğer olur. Aynı şey birçok sicimden oluşan bir bütün için de geçerlidir, kusursuz düzlükte olmaları ve birbirlerine kesinlikle paralel kalmaları koşuluyla. Kuşkusuz, etrafta sonsuz uzunlukta ve kusursuz düzlükte sicimler dolaştırmak üç boyutlu bir uzay-zamanda yaşadığımızı tasavvur etmek kadar gariptir. Bunda bir sorun yok; biz burada gerçekçi olmayan varsayımlarda bulunuyoruz, çünkü kuramları düşünülebilecek olanın sınırlarına kadar zorlamak ve ilkesel olarak olanaksız olanı yalnızca çok zor bir teknik sorundan ayırt etmek istiyoruz.



Şekil 26: Düzülke'de bir Gott zaman makinesi. İki nesne birbirlerinin yanından yeterince yüksek göreli hızlarda geçerlerse, noktalı çizgi bir kapalı zamansal eğri olacaktır. Burada gösterilen yüzeyin gerçekten iki boyutlu olduğuna, üç boyutlu uzayın bir izdüşümü olmadığına dikkat edin.

Bu ilginç bir sonuç, ama bir zaman makinesi "inşası" olarak görülemez. Gott'un uzay-zamanında nesneler çok uzakta başlar, birbirlerinin yanından geçer sonra sonsuzluğa doğru uzaklaşırlar. Nihayetinde, kapalı zamansal eğrilerin oluşması mukadderdi; evrimde, oluşmalarının kaçınılabileceği bir nokta olmadı. Bu yüzden, soru hâlâ ortadadır – bir Gott zaman makinesi yapabilir miyiz? Örneğin Düzülke'de birbirlerine göre hareketsiz olan iki kütleli nesneyle başladığımızı ve her ikisine de roket motorları taktığımızı tasavvur edebiliriz. (Kendi kendinize söylemeyi sürdürün: "düşünce deneyi.") Bunlara, kapalı zamansal eğriler oluşturacak kadar ivme kazandırabilir miyiz? Bu, her ne kadar gerçekçi olmayan koşullarda olsa da "zaman makinesi inşa etmek" sayılır.

Yanıt büyüleyicidir ve ben de bu çalışıldığında orada olacak kadar şanslıydım.[19] Gott'un makalesi 1991'de ortaya çıktığında, ben Harvard'da bir lisansüstü öğrencisiydim ve çoğunlukla danışmanım George Field'le çalışıyordum. Ama birçok Harvard öğrencisi gibi, sık sık Red Line metrosuyla MIT'ye, bizim üni-

[19] Gott'un makalesi yayımlandıktan kısa süre sonra, Curt Cutler (1992) kapalı zamansal eğrilerin sonsuza kadar uzandığını gösterdi; bu, çözümün aslında bir zaman makinesi inşa etmek sayılmayacağı yolunda başka bir işaret. (Çünkü "inşa etmeyi" yerel bir bölgede gerçekleştirilebilir bir şey olarak düşünüyoruz.) Deser, Jackiw ve 't Hooft (1992) Gott'un çözümünü incelemişler ve toplam momentumun bir takyonunkine denk geldiğini bulmuşlardı. Ben; Farhi, Guth ve Olum'la birlikte çalıştım (1992, 1994) ve bir açık Düzülke evreninin hiçbir zaman sıfırdan başlayarak bir Gott zaman makinesi yaratacak kadar enerjiye sahip olamayacağını gösterdik. 't Hooft (1992) kapalı bir Düzülke evreninin, kapalı bir zamansal eğri oluşma fırsatı bulamadan bir tekillik durumuna çökeceğini gösterdi.

versitede verilmeyen dersleri dinlemeye gidiyordum. (Birçok MIT öğrencisi de benzer nedenlerle ters istikamette geliyorlardı.) Bunlar arasında, Edward ("Eddie") Farhi tarafından verilen mükemmel kuramsal parçacık fiziği dersleri ve Alan Guth tarafından verilen erken evren kozmoloji dersleri vardı. Eddie, Bronx aksanıyla konuşan genç bir adamdı, fiziğe hayli ayağı yere basar bir bakışı vardı, hiç olmazsa "Is it Possible to Create a Universe in the Laboratory by Quantum Tunneling?" (Kuantum Tünellemesiyle Laboratuvar Ortamında Bir Evren Yaratmak Mümkün müdür?) gibi makaleler yazan birisi için.[20] Alan ise, genişleyen evren senaryosuyla dünya çapında ünlenmiş olağanüstü berrak zihinli bir fizikçiydi. Her ikisi de arkadaşça ve girişken insanlardı, konuşulacak ilginç fizik konuları olmasa bile sosyalleşmekten mutlu olacağınız tiplerdi.

Bu yüzden, her ikisi beni bir Gott zaman makinesi inşa etmenin mümkün olup olmadığı sorusunu ele alacak bir işbirliğine davet ettiğinde heyecanlanıp onur duydum. Başka bir kuramcılar takımı da –Stanley Deser, Roman Jackiw ve Nobel Ödülü sahibi Gerard 't Hooft– bu problem üzerine çalışıyordu ve Gott'un evreninde hareket eden iki cismin ilginç bir özelliğini keşfetmişlerdi: her ne kadar her cisim kendi başına ışık hızından yavaş hareket ediyorsa da birlikte ele alındığında bütün sistem bir takyonunkine eşdeğer bir momentuma sahipti. Sanki gayet normal iki parçacık birleşip ışıktan hızlı hareket eden tek bir parçacık yaratmış gibiydiler. Kütleçekimin bulunmadığı ve uzay-zamanın kusursuz düzlükte olduğu özel görelilikte bu olanaksız olurdu; ışıktan yavaş herhangi sayıda parçacığın toplam momentumu gayet ışıktan yavaş bir toplam momentum etmeliydi. Eğik uzay-zamanın garipliklerinden dolayıdır ki, iki nesnenin hızları böyle garip şekilde birleşebiliyordu. Ama bizim için, bu hiç de son söz değildi; eğik uzay-zamanın garipliklerinin takyonlar yapmanıza izin vermediğini kim söyleyebilirdi ki?

Problemin roket-gemisi sürümünü ele aldık: yavaş hareket eden nesnelerle başlayıp, bunları bir zaman makinesi yapacak kadar hızlandırabilir misiniz? Problemi böyle koyduğunuzda, neyin yanlış gidebileceğini görmek zordur – yeteri kadar büyük bir

[20] Farhi, Guth ve Güven (1990).

roketle, ağır nesneleri herhangi bir hıza çıkartmanızı ne engelleyebilir ki?

Yanıt, evrende o kadar enerji bulunmadığıdır. Bir "açık evren" varsayarak işe başladık – parçacıklarımızın içinde hareket ettiği Düzülke'deki düzlem sonsuza kadar uzanıyordu. Ama Düzülke'deki kütleçekimin garip özelliklerinden biri, açık bir evrene sığdırabileceğiniz toplam enerji miktarının mutlak bir üst sınırının olmasıdır. Daha fazla sığdırmaya çalışırsanız, uzay-zaman eğriliği çok fazla olur ve evren kendi üzerine kapanır.[21] Dört boyutlu uzay-zamanda, evrene istediğiniz kadar enerji sığdırabilirsiniz; her enerji zerresi yakındaki uzay-zamanı eğriltir, ama kaynaktan uzaklaştıkça, etki seyrelir. Üç boyutlu uzay-zamanda, aksine, kütleçekimin etkisi seyrelmez; artar. Dolayısıyla bir açık üç boyutlu evrende, sahip olabileceğiniz azami bir enerji miktarı vardır – ve bu da başlangıçta sahip değilseniz, bir Gott zaman makinesi yapmak için yeterli değildir.

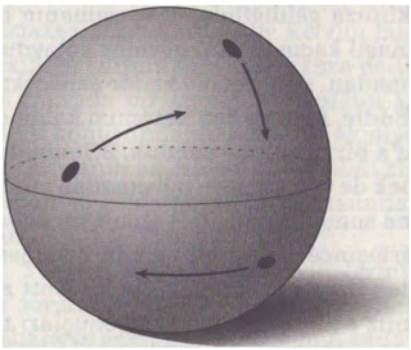
Bu, doğanın bir zaman makinesi yapılmasından kaçınmayı becermesinin ilginç bir yoludur. Biz iki makale yazdık, birini üçümüz yazdık ve sonuçlarımız için mantıklı görünen savlar öne sürdük, bunu daha fazla genellemeyle kanıtlayan bir makale de Ken Olum'la yazdık. Ama yol boyunca ilginç bir şey fark ettik. Açık bir Düzülke evreninde sahip olabileceğiniz enerjinin bir üst sınırı var; peki, kapalı bir evrende ne oluyor? Açık evrene çok fazla enerji sığdırmaya çalıştığınızda sorun kendi üzerine kapanması. Ama uzayın bir düzlem yerine bir küre gibi bir şey olarak göründüğü bir kapalı evren düşünerek, bu sorunu bir özelliğe dönüştürebilirsiniz.[22] O zaman izin verilen toplam enerjinin kesinlikle tek bir

---

[21] Belli bir noktanın perspektifinden görülen bir düzlem düşünün, etrafta 360 derece açıda uzanıyor. Düzülke'de olan, her bir enerji zerresinin etrafınızdaki toplam açıyı azaltmasıdır; her kütlenin bağlantılı olduğu, onun varlığında uzaydan eksiltilen bir "açı kaybı" vardır. Daha fazla kütle olursa, daha fazla açı eksilir. Sonuçta elde edilen geometri, düz bir kâğıt parçası yerine, büyük uzaklıklarda bir *koni* gibi görünür. Ama eksiltilecek yalnızca 360 derece mevcuttur, bu yüzden bir açık uzayda sahip olabileceğimiz toplam enerjinin bir sınırı vardır.

"Gibi bir şey" çünkü uzayın geometrisinden değil, topolojisinden söz ediyoruz. Yani uzayın eğriliğinin her yerde kusursuz bir küre olduğunu değil, onu düzgün bir biçimde küre şekline deforme edebileceğinizi söylüyoruz. Küresel bir topoloji tam olarak 720 derecelik, bir açık evrende olanın iki katı kadar bir açı kaybına sahiptir. Bir küp düşünün (bu kürenin topolojik eşdeğeridir).

değeri olur –kıpırdamaya yer kalmaz; uzayın toplam eğikliğinin tam olarak bir küre oluşturacak hale gelmesi gerekir– ve bu değer de açık bir evrende elde edebileceğinizin en fazlasının iki katı kadardır.



Şekil 27: Bir kürenin topolojisine sahip kapalı bir Düzülke'de hareket eden parçacıklar. Bir deniz topunun üzerinde yürüyen karıncaları düşünün.

Kapalı Düzülke evrenindeki toplam enerji miktarını bir Gott zaman makinesi yaratmak için gerekli olanla karşılaştırdığımızda, yeterli olduğunu görürüz. Bu ilk makalemizi alandaki önde giden dergi olan *Physical Review Letters*'a sunduktan ve kabul edildikten sonra olmuştu. Ama dergiler yayın öncesi makalelerinize "düzeltmede eklenmiştir" kaydıyla küçük notlar eklemenize izin verirler, biz de bir açık evrende olanaksız olsa da kapalı bir Düzülke'de bir zaman makinesinin *yapılabileceğini* düşündüğümüzü belirten birkaç cümle ekledik.

Çuvalladık. (Ünlü kişilerin yanında genç bir bilim insanı olarak çalışmanın tek iyi yanı, çuvalladığınızda, kendi kendinize "Eh, bu adamlar bile yakalayamadıysa, ne kadar aptalca olabilir ki?" diye düşünebilmenizdir.) Doğanın açık evrenlerde Gott zaman makinelerinden kaçınacak kadar akıllı olup kapalı evrenlerde bir sorun görmemesi bize biraz garip gelmişti. Ama kuşkusuz nesneleri yeterli hıza çıkartacak kadar enerji vardı, o zaman – ne yanlış gidebilirdi ki?

Kısa süre sonra, Gerard 't Hooft neyin yanlış gidebileceğini buldu. Kapalı bir evren, açık bir evrenin aksine, sonlu bir toplam

---

Her birinin doksan derecelik açı kaybına karşılık gelen sekiz köşesi vardır, bu da 720 derece eder.

hacme sahiptir – aslında "sonlu bir toplam alan," çünkü uzayda iki boyutumuz vardı, ama siz anlıyorsunuz. 't Hooft'un gösterdiği, kapalı bir Düzülke evreninde bir Gott zaman makinesi yapmak üzere parçacıkları harekete geçirdiğinizde, hacmin hızla azalmaya başladığıydı. Basitçe, evren bir Büyük Ezilmeye doğru gitmeye başlar. Bu olasılık bir kez aklınıza geldiğinde, uzay-zamanın bir zaman makinesi yapmaktan nasıl kaçınacağını görmek kolaydır – kapalı zamansal eğriler oluşmadan, sıfır hacme kadar ezilecektir. Denklemler yalan söylemez, Eddie, Alan ve ben hatamızı kabul ettik ve *Physical Review Letters*'a bir düzeltme sunduk. Bilimin ilerleyişi, göründüğü kadarıyla pek de yıpranmaya uğramadan sürdü.

Bizim açık evrenler üzerine sonuçlarımız ile 't Hooft'un kapalı evrenler üzerine sonuçları birleşince, öylesi bir zaman makinesinin bulunmadığı bir durumdan hareketle Düzülke'de bir Gott zaman makinesi yapamayacağınız açıkça görüldü. Bu sonuçları türetmek için kullanılan akıl yürütmelerin çoğunluğunun yalnızca gerçekçi olmayan üç boyutlu uzay-zaman durumunda geçerliymiş gibi görünebilir ve haklı olursunuz. Ama genel göreliliğin bize bir şeyler söylemeye çalıştığı açıktı: kapalı zamansal eğrilerden hoşlanmıyordu. Bunları yapmaya çalışabilirdiniz, ama hep bir şeyler yanlış gider gibiydi. Bu sonucu dört boyutlu uzay-zamanın gerçek dünyasında nereye kadar zorlayabileceğimizi sormayı gerçekten isterdik.

SOLUCAN DELİKLERİ

1985 baharında, Carl Sagan bir roman yazıyordu – *Contact*,* burada, astrofizikçi Ellie Arroway (daha sonra film sürümünde Jodie Foster tarafından canlandırılmıştı) dünya dışı bir uygarlıkla ilk teması kuruyordu.[23] Sagan, Ellie'yi yıldızlararası uzaklıklarda hızla hareket ettirmenin çaresini arıyordu, ama bilimkurgu yazarının tembel çözümünü benimseyip ışık hızından hızlı gitmek için WARP motoru kullanmak da istemiyordu. Bu yüzden kendisine saygısı olan herhangi bir yazarın yapacağını yaptı: kahramanını

* C. Sagan, *Mesaj*, çev. M. Harmancı, Say Yayınları, (2016).
Sagan (1985). Sagan'ın öyküsünün Kip Thorne'un solucan delikleri ve zaman yolculuğu üzerine çalışmasına nasıl ilham verdiği Thorne (1994) içinde anlatılır.

bir kara deliğe fırlatıp yirmi altı ışık yılı uzaklıkta zarar görmeden çıkmasını umut etti.

Olacak gibi değil. Zavallı Ellie "spagettileşecekti" – kara deliğin tekilliği yakınlarındaki gelgit kuvvetleri tarafından uzatılıp paramparça edilecekti ve herhangi bir yerde dışarı atılmayacaktı. Sagan kara delik fiziğinin yabancısı değildi; ışık konilerinin, hiç olmazsa altmışlarda Roy Kerr'in bulduğu kesin çözüme göre sizi tekilliğe çarpmadığı döner kara delikleri düşünüyordu. Ama dünya çapında bir uzman olmadığını kabul ediyordu ve romandaki bilim konusunda dikkatli olmak niyetindeydi. Neyse ki, bu konuda dünyanın en önde uzmanı olan kişi arkadaşıydı: Caltech'de bir fizikçi ve genel görelilik konusunda en önde gelen uzmanlardan biri olan Kip Thorne.

Thorne, Sagan'ın müsveddelerini okumaktan mutluluk duydu ve sorunu belirledi: Modern araştırmalar gerçek dünyadaki kara deliklerin eskimiş Kerr çözümü kadar iyi huylu olmadıklarını göstermişti. Bizim evrenimizde fiziksel süreçler sonucu yaratılacak gerçek bir kara delik, dönsün ya da dönmesin, hevesli bir astronotu ezer ve hiçbir zaman dışarı atmazdı. Ama alternatif bir fikir olabilirdi: bir *solucan deliği.*

Neredeyse kesinlikle gerçek dünyada var olan ve üzerlerine birçok hakiki gözlemsel kanıtımız bulunan kara deliklerin aksine, solucan delikleri tamamen kuramcıların farazi oyun araçlarıydı. Fikir, aşağı-yukarı akla geldiği gibiydi: genel görelilikte uzay-zamanın dinamik doğasından yararlanıp uzayın iki farklı bölgesini birleştiren bir "köprü" tasavvur etmek.

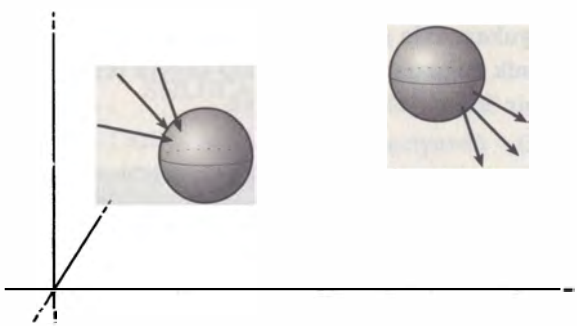


Şekil 28: Uzayın iki uzak parçasını birleştiren bir solucan deliği. Bir resimde hassasiyetle gösterilemeyecek olsa da solucan deliğinden geçen fiziksel uzaklık, solucan deliğinin ağızları arasındaki olağan uzaklıktan çok daha kısa olabilir.

Bir solucan deliğinin tipik betimlemesi Şekil 28 içinde gösterilmiştir. Düzlem üç boyutlu uzayı betimler ve iki uzak bölge

arasında bir kestirme oluşturan bir tür tünel vardır; solucan deliğinin dış uzayla bağlandığı yerler solucan deliğinin "ağızlarıdır" ve onları birleştiren tüpe de "boğaz" adı verilir. Bu bir kestirmeye benzemiyor – aslında, resimden, bir ağızdan diğerine normal uzaydan gitmenin solucan deliğinden gitmeye göre daha kısa olduğunu düşünebilirsiniz. Ama bu yalnızca ilginç eğri uzayları, üç boyutlu uzayın bizim sıkıcı yerel bölgesinde çizme becerimizin kısıtlılığından kaynaklanır. Ama kuşkusuz temelde önceki resimde gösterilen biçimde olan ama solucan deliğinden geçilerek aşılan uzaklıkların –olağan uzaydaki uzaklıklardan çok daha kısa olanlar da içinde olmak üzere– istediğimiz gibi olduğu bir geometriyi tasarlamakta da özgürüz.

Aslında, bir solucan deliğini betimlemek için çok daha sezgisel bir yol vardır. Olağan üç boyutlu uzayı tasavvur edin ve eşit boyutlarda iki "kesit" küresel bölge. Sonra bir kürenin yüzeyini diğerininkiyle tanımlayın. Yani bir küreye giren her şeyin anında diğerinin karşı tarafından çıktığını kabul edin. Şekil 29'dakini elde ederiz; her küre solucan deliğinin ağızlarından biridir. Bu tam olarak sıfır uzunlukta bir solucan deliğidir; bir küreye girerseniz, anında diğerinden çıkarsınız. (Bu cümledeki *anında* sözcüğü alarm zillerini çaldırmalıdır – *kime göre* anında?)



Şekil 29: Üç boyutlu uzayda, içleri çıkartılmış iki küreyi tanımlayarak inşa edilmiş bir solucan deliği. Bir küreye giren her şey anında diğerinin karşı tarafında belirir.

Solucan deliği daha önce verdiğimiz düne açılan kapı örneğimizi anımsatır. Solucan deliğinin bir yanından bakarsanız, uçu-

şan renkler, yanıp sönen ışıklar görmezsiniz; solucan deliğinin diğer ucunda ne varsa onu görürsünüz, bir tür periskoptan (ya da kamerası diğer yanda olan bir video monitöründen) bakarmış gibi. Tek fark, aynı kolaylıkla elinizi diğer tarafa uzatabilecek ya da (solucan deliği yeterince büyükse) diğer tarafa atlayabilecek olmanızdır.

Bu türden solucan deliği açıkça, uzay-zamanda uzak iki bölgeyi zaman kaybetmeden bağlayan bir kestirme yoldur. Tam olarak Sagan'ın romanında gerçekleştirmek istediği şeyi gerçekleştiriyordu ve Thorne'un önerisiyle ilgili bölümü baştan yazdı. (Film sürümünde, ne yazık ki, uçuşan renkler ve yanıp sönen ışıklar yer aldı.) Ama Sagan'ın sorusu yalnızca daha doğru bir öyküye değil, yenilikçi bilimsel araştırmalarla sonuçlanan bir fikirler zincirine de yol açtı.

KOLAYLAŞTIRILMIŞ ZAMAN MAKİNESİ İNŞASI

Solucan deliği uzayda bir kestirme yoldur; bir yerden diğerine uzayın bütününde doğrudan bir yol izlediğinizde olacağından çok daha hızlı ulaşmanızı sağlar. Yerel bakış açınızdan, hiçbir zaman ışıktan hızlı hareket etmezsiniz, ama hedefinize, solucan deliğinin orada olmaması durumunda ışığın gideceğinden daha önce varırsınız. Işıktan hızlı yolculuğun zamanda geri gitmek için kullanılabileceğini biliyoruz; solucan deliğinde yolculuk fiilen bu değildir, ama kuşkusuz bir akrabalık benzeşmesi de vardır. Sonunda Thorne, Michael Morris, Ulvi Yurtsever ve başkalarıyla çalışarak, bir solucan deliğini kapalı zamansal eğriler oluşturmak üzere nasıl kullanacağını buldu.[24]

İşin sırrı şurada: ortalığa "solucan deliği uzayın uzak iki bölgesini birleştirir" ifadesini attığımızda, bunun gerçekten *uzay-zamanda* iki küme olayı birleştirdiği olgusunu ciddiye almalıyız.

[24] Tarihlerden de açıkça görüleceği gibi, solucan deliği zaman makineleri üzerine çalışmalar aslında Düzülke araştırmalarından daha öncesine dayanır. Ama Gott'un fikirlerine göre daha egzotik bir fiziğe dayanır, bu yüzden önerileri bu sırada ele almak daha mantıklıdır. Özgün zaman makinesi olarak solucan deliği makalesi Morris, Thorne ve Yurtsever (1988) tarafından yazılmıştır. Solucan deliği uzay-zamanlarında zaman yolculuğunun olası tutarlılığı üzerine ayrıntılı araştırma Friedman vd (1990) içindedir, öykü popüler düzeyde Thorne (1994) tarafından anlatılmıştır.

Uzay-zamanın solucan deliği dışında kusursuz düz olduğunu ve bir durgun çerçevede bir "ardalan zamanı" tanımladığımızı tasavvur edelim. Bir solucan deliği yapmak üzere iki küre tanımladığımızda, bunu o belli ardalan zaman koordinatına göre "aynı zamanda" yaparız. Başka bir çerçevede, aynı zamanda olmayacaklardır.

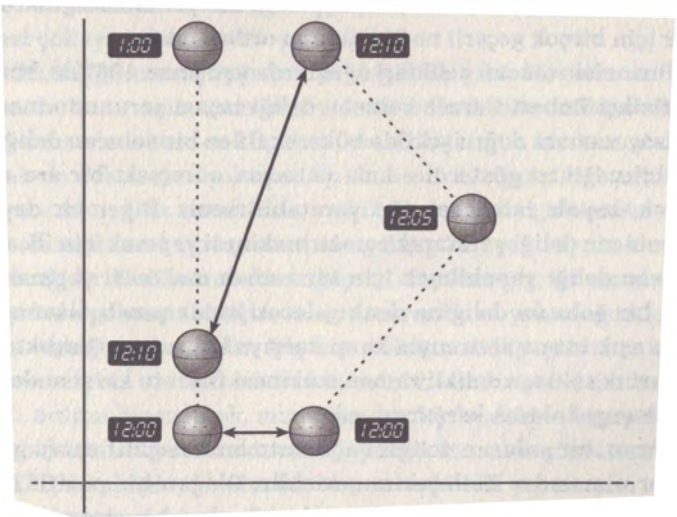
Şimdi güçlü bir varsayımda bulunalım: Solucan deliğinin her iki ağzını da birbirlerinden bağımsız olarak alıp yerlerini değiştirebiliriz. Bu varsayım biraz uçarıdır, ama düşünce deneyimiz açısından iş görür. Sonra, bir ağzı sakince ivmesiz bir güzergâhta bırakır, diğerini çok yüksek hızda ileri geri oynatırız.

Ne olduğunu görmek için, her solucan deliği ağzına birer saat iliştirdiğimizi tasavvur edin. Sabit ağızdaki saat ardalan zaman koordinatıyla aynı zamanı gösterecektir. Ama gidip gelen solucan deliği ağzındaki saat, görelilikteki diğer bütün hareket halindeki nesneler gibi güzergâhı boyunca daha az zaman deneyimleyecektir. Bu yüzden iki ağız yeniden yan yana getirildiklerinde, hareket eden saat, sabit kalan saate göre geride kalmış gibi görünecektir.

Şimdi tamamen aynı durumu ele alın ama solucan deliğinden bakarak elde edeceğiniz bakış açısına göre düşünün. Unutmayın, bir solucan deliğinin ağzından baktığınızda, acayip bir şey görmezsiniz; yalnızca diğer ağızdan ne görülüyorsa onu görürsünüz. Solucan deliğinin ağzından görüldüğü haliyle iki saati karşılaştırırsak, birbirlerine göre hareket etmezler. Çünkü solucan deliği boğazının boyu, ağızlar hareket ediyor olsalar da değişmez (basitleştirilmiş örneğimizde, tamı tamına sıfırdır). Solucan deliğinden bakıldığında, yalnızca birbirlerine yakın oturan, tamamen sabit iki saat görülür. Bu yüzden tamamen eşzamanlı bir durumda kalır, her birinin açısından zamanı kusursuz gösterirler.

Evvelce, hareket eden, gidip gelen saatin daha az zamanın geçtiğini deneyimlediğini söylememize karşın, nasıl olur da iki saat birbirleriyle uyumlu olmayı sürdürebilirler? Basit – onlara bir dış gözlemci olarak baktığımızda farklıymış gibi görünürler, ama onlara solucan deliğinden baktığımızda, uyuşuyor gibi görünürler. Bu şaşırtıcı olgunun basit bir açıklaması vardır: solucan deliğinin iki ağzı uzay-zamanda farklı güzergâhlarda hareket ettiğinde, aralarındaki tanımlama ardalan bakış açısından artık aynı zamanda değildir. Bir ağzı temsil eden küre hâlâ diğer ağzı temsil

eden küreyle tanımlanıyordur, ama artık *farklı zamanlarda* tanımlanırlar. Birinden geçerseniz, ardalan zamanına göre geçmişe gidersiniz; aksi yönde geçerseniz, geleceğe gidersiniz.



Şekil 30: Bir solucan deliği zaman makinesi. İki uçlu oklar küresel solucan deliği ağızları arasındaki tanımlamaları betimler. İki ağız birbirlerine yakın, aynı ardalan zamanında tanımlanmış olarak başlarlar. Biri sabit kalır, diğeriyse ışık hızı yakınlarında uzaklaşıp geri döner, böylece çok farklı ardalan zamanlarında tanımlanmaya başlarlar.

Dolayısıyla bu tür solucan delikleri tamı tamına düne açılan kapı gibidirler. Kısa boğazlı bir solucan deliğinin uçlarıyla oynayarak, uzay-zamanın çok farklı zamanlardaki iki farklı bölgesini birleştirdik. Bunu yaptığımızda, solucan deliğinde bir kapalı zamansal eğri betimleyecek şekilde yolculuk ederiz ve paradokslar üzerine önceki tüm endişelerimiz geçerli olur. Bu prosedür, gerçek dünyada uygulanabilirse, açık bir şekilde önceki tartışmalarımızın standartlarına göre bir "zaman makinesi inşası" sayılır.

ZAMAN MAKİNELERİNE KARŞI SAVUNMA

Solucan deliği zaman makineleri, kapalı zamansal eğrileri gerçek dünyada olabilirmiş gibi bir hava yaratır. Sorun fizik yasalarının kısıtlamaları değil, teknolojik imkânlarmış gibi gözükür; tek yap-

mamız gereken bir solucan deliği bulmak, açık tutmak, ağızlarından birini doğru şekilde hareket ettirmek... Eh, belki de o kadar da olacak şey değildir. Kuşkulanacağınız gibi, solucan deliklerinin zaman makineleri imali için pratik bir yol olmadığına inanmak için birçok geçerli neden olduğu ortaya çıkar.

Birincisi solucan delikleri ağaçlarda yetişmez. 1967'de, kuramsal fizikçi Robert Geroch solucan deliği inşası sorununu inceledi ve uzay-zamanı doğru şekilde bükerek fiilen bir solucan deliği yaratabileceğinizi gösterdi – ama yalnızca, süreçteki bir ara adım olarak, kapalı zamansal eğri yaratabilirseniz. Diğer bir deyişle, bir solucan deliği yaratarak zaman makinesi yapmak için ilk adım, solucan deliği yapabilmek için bir zaman makinesi yapmaktır.[25] Ama bir solucan deliğine denk gelecek kadar şanslı olsanız bile bunu açık tutma sorunuyla karşı karşıya kalırsınız. Gerçekten de bu zorluk solucan delikli zaman makinesi fikrinin karşısındaki en büyük engel olarak karşımıza çıkar.

Sorun, bir solucan deliğini açık tutmanın negatif enerji gerektiriyor olmasıdır. Kütleçekim çekicidir: Olağan bir pozitif enerji nesnesinin yol açtığı kütleçekim alanı şeyleri bir araya getirmeye çalışır. Ama Şekil 29'a bir kez daha bakın ve solucan deliğinin içinden geçen bir parçacık grubuna ne yaptığını görün – başlangıçta bir araya gelen parçacıkları alıp onları şimdi birbirlerinden uzaklaştırarak, "odaksızlaştırır." Bu kütleçekimin geleneksel davranışının tersi ve negatif enerjilerin işin içine karıştığının işaretidir.

Doğada negatif enerji var mıdır? Muhtemelen yoktur, en azından makroskobik bir solucan deliğini desteklemek için gereken şekilde – ama kesin konuşamayız. Kimileri negatif enerji cepleri

[25] Bir keresinde, bir konuşması öncesinde Bob Geroch'u anons etmiştim. Bu tür durumlarda, konuşmacıyla ilgili ilginç bir anekdot bulmak yararlıdır, bu yüzden Google'da araştırdım ve mükemmel bir şey buldum: bir Uzay Yolu sitesinde, "Geroch Solucan deliği" adı verilen bir şeyin gösterildiği bir galaksi haritası. (Anlaşılan Beta çeyreğini Delta çeyreğiyle birleştiriyor ve Romulanlarla tatsız bir dalaşmaya neden oluyordu.) Ben de bir transparanın üzerine haritayı bastırdım ve tanıtımım sırasında gösterdim, herkes de çok eğlendi. Daha sonra, Bob bana önce haritayı benim uydurduğumu sandığını ve sonra solucan delikleri üzerine çalışmalarının dış dünyada yararlı pratik bir etki oluşturduğuna sevindiğini söyledi. Bir solucan deliği inşa etmek için bir kapalı zamansal eğri yapmanız gerektiğini gösteren makale için, *bkz.* Geroch (1967).

yaratmak amacıyla kuantum mekaniğini kullanmak için fikirler önermişlerdir, ama bunlar pek de ayağı yere sağlam basan şeyler değildir. Büyük bir engel, sorunun mecburen hem kütleçekimi hem de kuantum mekaniğini içermesidir ve bu iki kuramın kesişmesi çok iyi anlaşılan bir şey değildir.

Bu kaygılanmak için yeterli değilmiş gibi, bir solucan deliği olsa ve bunu açık tutmanın yolunu bulsak bile muhtemelen istikrarsız olacaktır: en küçük düzensizlik bunun bir kara delik biçiminde çökmesine yol açar. Bu da kesin bir yanıt bulunması zor bir sorudur, ama temel fikir, en küçük enerji dalgalanmasının bir kapalı zamansal eğri çevresinde gelişigüzel çok sayıda kez gidip geleceğidir. Halihazırdaki en geçerli düşüncemiz, en azından bazı küçük dalgalanmalar için, bu tür tekrarlanan yolculuğun kaçınılmaz olduğu yolundadır. Böylece solucan deliği yalnızca içinden geçen tek bir toz zerresinin kütlesini hissetmeyecektir; bu etkiyi ardı ardına hissedecek, muazzam bir kütleçekim alanı yaratacak bu da bizim zaman makinesi adayımızı sonunda çökertecektir.

Doğa, anlaşılan, bizim bir zaman makinesi yapmamızı engellemek için çok uğraşıyor. İkincil kanıtların böyle birikmesi, Stephen Hawking'in "Chronology Protection Conjecture" (Kronoloji Koruma Varsayımı) adını verdiği şeyi önermesine neden olmuştur: Fizik yasaları (her neyseler) kapalı zamansal eğrilerin yaratılmasını yasaklar.[26] Belirleyici bir kanıt sahibi olmasak bile elimizde bu doğrultuda bir şeylerin doğru olduğuna dair birçok kanıt var.

Zaman makineleri bizi büyülüyor, kısmen de paradokslara kapı açtığı ve özgür irade mefhumlarımıza meydan okuduğu için. Ama muhtemelen yoklar, bu yüzden oluşturdukları sorunlar da (Hollywood'da senaryo yazarı değilseniz) en acil olanlar arasında değil. Diğer yandan, zaman oku tartışmasız bir şekilde gerçek dünyanın bir özelliği ve oluşturduğu sorunların da açıklanması gerekir. İki olgu ilişkilidir; gözlemlenebilir evrende tutarlı bir

[26] Hawking (1991). Sonuç bölümünde, Hawking aynı zamanda, geriye doğru zaman yolculuğunun olanaksızlığı yolunda gözlemsel kanıt bulunduğunu öne sürer, bunu söylerken de gelecekten gelen tarihçilerin bizi işgal etmiş olmadığı olgusuna dayanır. Şaka ediyordu (hayli eminim). Sıfırdan kapalı zamansal eğriler yapmak mümkün olsaydı bile kapalı zamansal eğrilerin yapıldığı zamandan *öncesine* yolculuk etmekte hiçbir zaman kullanılamazlardı. Bu yüzden, bir zaman makinesi inşa etme olanağına dair gözlemsel kanıt yoktur, yalnızca daha kimsenin inşa etmediğine dair kanıt vardır.

zaman okunun varlığı, yalnızca kapalı zamansal eğrilerin olmaması sayesindedir ve kapalı zamansal eğrilerin endişe uyandıran özellikleri de zaman okuyla uyuşmazlık halinde oluşlarından kaynaklanır. Zaman makinelerinin yokluğu tutarlı bir zaman oku için gereklidir, ama onu açıklamak için kesinlikle yeterli değildir. Yeterince temel oluşturduğumuza göre, doğrudan zamanın yönünün esrarıyla karşılaşmanın zamanı gelmiştir.

ÜÇÜNCÜ KISIM

ENTROPİ VE ZAMAN OKU

7
ZAMANI TERSİNE İŞLETMEK

Zamanın akıntısına karşı yüzmek istiyorum dediğimde kastettiğim buydu: kimi olayların sonuçlarını silmek ve bir başlangıç koşuluna dönmek isterdim.

—Italo Calvino, *Se una notte d'inverno un viaggiatore**

Toplumda yükselmenin tehlikeli bir iş olduğu çağda, Pierre-Simon Laplace bir toplumsal tırmanıcıydı.[1] Fransız devrimi patlak verdiğinde Laplace, Académie des Sciences'taki meslektaşlarına da sık sık anımsattığı gibi, kendini Avrupa'nın en büyük matematik dehalarından biri olarak kabul ettirmişti. 1793'te Terör Düzeni Académie'yi kapattı; Laplace Cumhuriyete olan bağlılığını açıkladı, ama aynı zamanda ne olur ne olmaz Paris dışına taşındı. (Nedensiz değildi bu; meslektaşı, modern kimyanın babası Antoine Lavoisier 1794'te giyotine gönderilmişti.) Napolyon iktidarı ele geçirdiğinde Bonapartizme döndü ve *Théorie Analytique des Probabilités* (*Olasılıkların Analitik Kuramı*) başlıklı çalışmasını imparatora ithaf etti. Napolyon Laplace'a içişleri bakanlığı görevini verdi, ama bu çok sürmedi – çok soyut düşünceli olmakla ilgili bir sorun. Bourbon'ların restorasyonu sonrasında Laplace Kralcı oldu ve kitabının daha sonraki baskılarında Napolyon'a ithafını unuttu. 1817'de marki yapıldı.

I. Calvino, *Bir Kış Gecesi Eğer Bir Yolcu*, çev. Eren Cendey, YKY, 2017.

Bkz. O'Connor ve Robertson (1999), Rouse Ball (1908). Laplace'ı, genel görelilik ortaya çıkmadan çok önce kara delikler üzerine fikir yürüten insanlardan biri olarak anımsayacaksınız.



Şekil 31: Pierre-Simon Laplace, matematikçi, fizikçi, yoldan çıkmış politikacı ve yolundan sapmayan belirlenimci.

Toplumsal ihtiraslar bir yana, bilimine gelince siyaseten hayli münasebetsiz olabiliyordu. Ünlü bir anekdot, imparatordan kitabı *Méchanique Céleste*'in (*Gök Mekaniği*) –gezegenlerin hareketleri üzerine beş ciltlik bir inceleme– bir nüshasını kabul etmesini talep ettiğinde Napolyon'la olan karşılaşması hakkındadır. Napolyon'un kitabın tamamını (hatta bir bölümünü bile) okumuş olma olasılığı pek yoktur, ama saraydan birileri ona Tanrı'nın adının kitapta hiç geçmediğini söylemişti. Napolyon şu soruyu fesatça sorma fırsatını değerlendirmişti: "Bay Laplace, bana evrenin sistemi üzerine bu koca kitabı Yaratıcısından hiç söz etmeden yazdığınız söylendi." Laplace da buna inatçılıkla yanıt vermişti, "O varsayıma hiç ihtiyacım olmadı."[2]

Laplace'ın felsefesinin merkezi ilkelerinden biri belirlenimcilikti. Newton'ın mekaniğinin şimdi ile gelecek arasındaki ilişki üzerine sonuçlarını gerçekten ilk takdir edenlerden biri Laplace olmuştu: Yani şimdi üzerine her şeyi anlarsanız, gelecek de mutlaka belirlenmiş olur. Olasılık üzerine denemesinin giriş bölümünde ifade ettiği gibi:

> Evrenin halihazırdaki durumunu geçmişinin sonucu ve geleceğinin nedeni olarak görebiliriz. Doğayı belli bir anda harekete

[2] Anlaşılan, Napolyon bunu gayet eğlendirici bulmuştu. Laplace'ın esprisini o zamanların başka bir önde giden fizikçi ve matematikçisi olan Joseph Lagrange'a aktarmıştı. Lagrange da "Ah, ama bu güzel bir varsayımdır; birçok şeyi açıklar," diye yanıt vermişti. Rouse Ball (1908), 427.

> geçiren tüm kuvvetleri ve doğayı oluşturan her şeyin konumunu bilen bir zekâ, bu zekâ aynı zamanda bu verileri çözümleyecek kadar da genişse, evrenin en büyük cisimleri ile en küçük atomlarının hareketlerini tek bir formüle sığdırır; böylesi bir zekâ için hiçbir şey belirsiz olmaz ve gelecek de geçmiş gibi, gözlerinin önünde olur.[3]

Şimdi olsa, herhalde yeterince güçlü bir bilgisayarın, evrenin şimdiki durumu üzerine bilinecek her şey verilirse, geleceği öngörebileceğini (ve geçmişi bilebileceğini) söylerdik. Laplace bilgisayarları bilmiyordu, bu yüzden geniş bir zekâ tasavvur etmişti. Daha sonraki yaşamöyküsü yazarları bunu biraz kuru bulmuşlardı, bu yüzden bu farazi zekâya bir etiket yapıştırdılar: *Laplace'ın Şeytanı*.

Laplace şüphesiz ki hiçbir zaman bunu şeytan olarak adlandırmadı; herhalde tanrıları varsaymaya ihtiyacı olmadığı gibi, şeytanları varsaymaya da ihtiyacı yoktu. Ama bu fikir Newton fiziğinin eski matematiği içinde dolanan kimi tehditleri yansıtır. Gelecek belirlenmeyi bekleyen bir şey değildir; kaderimiz, halihazırdaki evrenin ayrıntılarına kazınmıştır. Geçmiş ile geleceğin her anı gelecek tarafından belirlenmiştir. Yalnızca hesapları yapacak kaynaklara henüz sahip değiliz.[4]

Hepimizin içinde Laplace'ın şeytanının sonuçlarına direnmek yolunda derinlerde yerleşmiş bir dürtü vardır. Oralarda birileri evrenin tüm durumuna erişebilecek durumda olsa bile geleceğin belirlenmiş olduğuna inanmak istemeyiz. Tom Stoppard'ın *Arcadia*'sı bu kaygıyı çok canlı terimlerle bir kez daha ifade eder.

> VALENTINE: Evet. Birisi vardı, adını unuttum, 1820'lerde, Newton'ın yasalarından gelecek her şeyin öngörülebileceğini söylemişti – yani demek istiyorum ki, evren kadar büyük bir bilgisayar gerekecekti, ama formüller vardı.
>
> CHLOË: Ama işlemiyor, değil mi?
>
> VALENTINE: Hayır, matematiğin farklı olduğu ortaya çıktı.
>
> CHLOË: Hayır, hepsi cinsellik yüzünden.

Laplace (2007).

Laplace'ın şeytanının her hareketimizi küstahça belirleyerek evrenin bir yerlerinde var olma tehlikesi yoktur. Bir kere, evren kadar büyük olması ve evrenin sahip olduğuna eşdeğer bir hesaplama kapasitesine sahip olması gerekir.

VALENTINE: Öyle mi?

CHLOË: Ben öyle düşünüyorum. Evren belirlenimci, pekâlâ, tam da Newton'ın dediği gibi, yani öyle olmaya çalışıyor, ama yanlış giden tek şey, insanların planın orasında olmaması gereken kişilerin peşine düşmesi.

VALENTINE: Hah. Newton'ın hesaba katmadığı çekicilik. Ta bahçedeki elmaya kadar geri giden. Evet. (Duraklar.) Evet, sanırım bunu ilk düşünen sensin.[5]

Cinsel çekiciliğin belirlenimciliğin demir pençesinden bizi kurtarıp kurtarmayacağını inceleyecek değiliz. Kaygımız, neden geçmişin gelecekten bu kadar kanıtlanabilir şekilde farklı gözüktüğü. Ama altında yatan fizik yasaları o kadar kusursuz bir şekilde tersinir görünmeseler, bu o kadar şaşırtıcı olmayacaktı; Laplace'ın şeytanı söz konusu olduğunda, geçmişi bilmek ile geleceği öngörmek arasında bir fark yoktur.

Zamanı geri çevirmenin, ilk bakışta görece açık görünen bir şey için şaşırtıcı bir şekilde ince bir iş olduğu ortaya çıkar. (Alt tarafı, filmi tersine oynatırız, değil mi?) Zamanın yönünü kaygısızca tersine çevirmek doğa yasalarının bir simetrisi değildir – altta yatan simetriyi doğru belirlemek için "zamanı tersine çevirmek" sözünden ne anladığımızı açmamız gerekir. Bu nedenle konuya dolaylı bir şekilde, basitleştirilmiş oyuncak modelleriyle yaklaşacağız. Nihayetinde önemli kavramın hiç de "zamanı tersine çevirmek" değil, benzer gibi duran "tersinirlik" olduğunu savunacağım – Laplace'ın şeytanının, sadece zamanı tersine çevirmekten daha karmaşık olsa bile sözüm ona becerebilecek olduğu, geçmişi şimdiye bakarak yeniden kurma becerisi. Tersinirliği sağlayan anahtar kavram da *bilginin korunumudur*: dünyanın durumunu nitelendirmek için gereken bilgi, zaman geçtikçe korunuyorsa, her

[5] Stoppard (1999), 103-4. Valentine, sanırsınız ki, kaos olgusunun belirlenimciliği çürüttüğü fikrine atıfta bulunuyor. Gayet gerçek olan kaos dinamikleri, başlangıç koşullarındaki küçük değişmelerin daha sonraki evrimde büyük farklılıklara yol açtıklarında oluşur. Uygulamada, bu kaotik sistemler için (her şey böyle değildir) geleceği öngörülmesi aşırı zor bir duruma getirir – her zaman için bir sistemin şu andaki durumunu anlayışımızda küçük bir hata olacaktır. Bu savlamanın Laplace'ın şeytanı konusunda fazla ağırlığı olduğunu sanmıyorum. Pratiğe bakarsanız, bırakın bunu kullanarak geleceği kestirmeyi, evrenin tüm durumunu bilmemiz diye bir tehlike de söz konusu değildi. Kaos olasılığı da bu durumu değiştirmez.

zaman için saati tersine çalıştırıp herhangi bir önceki durumu geri getirebiliriz. Zaman okuyla ilgili esas bulmaca da işte burada ortaya çıkar.

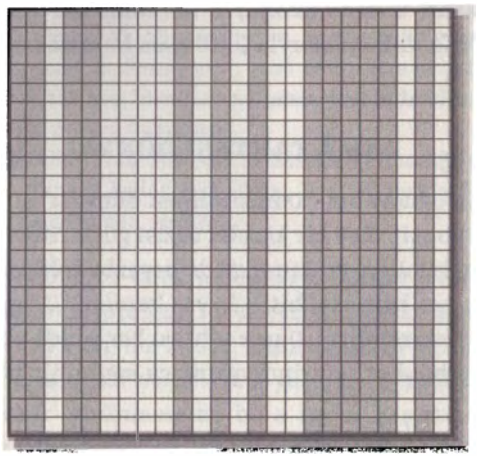
DAMA TAHTASI DÜNYA

Gelin bir oyun oynayalım. "Dama tahtası dünyası" adı veriliyor ve kuralları aşırı basit. Size bir kareler dizisi gösteriliyor –dama tahtası– bunların kimileri gri kimileri de beyazla doldurulmuş. Bilgisayar dilinde, her kare bir "bit" – beyaz kareleri "0," gri kareleri de "1" sayısıyla gösterebiliriz. Dama tahtası her yönde sonsuza kadar uzanıyor, ama biz her seferinde yalnızca sonlu bir bölümünü görebiliyoruz.

Oyunun amacı, *dağılımı tahmin etmek*. İşiniz, karşınızdaki kareler dizisine bakarak beyazlar ile grilerin düzenindeki dağılımı ya da kuralları belirlemek. Tahminleriniz daha sonra dama tahtasının ilk gösterilenden daha büyük bir bölümü açılarak ve tahmininizin akla getirdiği öngörü dama tahtasının fiili durumuyla karşılaştırarak değerlendirilecek. Bu son adım, oyun terimcesinde "varsayımı denemek" olarak biliniyor.

Kuşkusuz, bu oyunun bir adı daha var: "Bilim" deniyor. Yaptığımız, çok idealize edilmiş bir bağlamda olsa bile bilim insanlarının doğayı anlamak için yaptıklarını betimlemek. Fizik konusunda, iyi bir kuramın üç bileşeni vardır: evreni oluşturan *malzemenin* tanımlaması, malzemenin yayıldığı arena ve malzemenin tabi olduğu *kurallar* kümesi. Örneğin malzeme temel parçacıklar ya da kuantum alanları olabilir, arena dört boyutlu uzay-zaman, kurallar da fizik yasaları. Dama tahtası dünyası da tam olarak bunun bir modelidir: malzeme bir bit kümesidir (0'lar ve 1'ler, beyaz ve gri kareler), üzerine yayıldıkları arena dama tahtasının kendisidir, kurallar da –bu oyuncak dünyasındaki doğa yasaları– karelerin davranışlarında fark ettiğimiz dağılımlar. Oyunu oynadığımızda, kendimizi bu hayali dama tahtalarından birinde yaşayan ve zamanlarını, doğa yasalarını formüle etmeye çalışırken karelerin görünümlerindeki dağılımları arayan hayali fizikçilerin yerine koyuyoruz.[6]

[6] Doğrudur, aslında fizikçiler, temelde insana dair nedenlerden dolayı bu dama tahtalarından herhangi birinde yaşıyor olamazlar: düzenekler, akıllı



Şekil 32: Her dikey sütunda basit bir dağılım içeren bir dama tahtası dünyası örneği.

Şekil 32'de oyunun, "dama tahtası A" olarak işaretlenmiş özellikle basit bir örneği var. Açıkça burada bariz bir şekilde görülen belli bir dağılım var. Bunu ifade etmenin bir yolu, "belli bir sütundaki bütün kareler aynı durumda," olabilir. Ortalıkta dolanan *başka* bir dağılım olmadığını kontrol etmeye dikkat etmemiz gerekir – eğer bir başkası bizden fazla dağılım tespit ederse, oyunu kaybederiz ve onlar da dama tahtası Nobel Ödülünü kaparlar. Dama tahtası A'nın görünümünden, sıralarda ilerleyerek durumu daha da basitleştirebileceğimiz başka bir bariz dağılım bulamayacağız gibi duruyor, yani işimiz bitmiş gibi.

Ne kadar basit olursa olsun, dama tahtası A içinde gerçek dünya için gayet bağlantılı bazı özellikler var. Birincisi dağılım sütunlarda dikey olarak yukarı çıkan "zaman" ile sıralarda yatay olarak giden "uzay" arasında bir ayrım yapıyor. Aradaki fark, bir sıra içinde her şeyin olabileceği – bilebildiğimiz kadarıyla, belli

---

gözlemcilerle özdeşleştirebileceğimiz karmaşık yapıların oluşumuna ve evrimine izin vermeyecek kadar basittir. Bu boğucu basitlik farklı unsurlar arasında ilginç "etkileşmelerin" yokluğuna bağlanabilir. İnceleyeceğimiz dama tahtası dünyalarda, tüm betimleme yalnızca (dikey ya da çapraz çizgiler gibi) hiç değişmeden uzayıp giden tek türde bir şeyden oluşacak. İlginç bir dünya, şeylerin az çok uzun bir süre kalıcı olduğu ama kademeli bir şekilde dünyadaki diğer şeylerle etkileşme yoluyla değiştiği bir dünyadır.

bir karenin durumu yakındaki karelerin durumu hakkında bir bilgi vermiyor. Gerçek dünyada, benzer biçimde, uzayda istediğimiz madde kurulumuyla başlayabiliriz. Ama bu kurulum bir kez seçildiğinde, "fizik yasaları" bize zaman içinde ne olacağını söyler. Kucağımızda bir kedi varsa, bir an sonra o kedinin yakınlarda olacağını hayli kesinlikle söyleyebiliriz; ama orada bir kedinin olduğunu bilmek, odada başka nelerin olduğu konusunda bize pek bir bilgi sağlamaz.

Evrenin yaratılışında tamamen sıfırdan başlarken, zaman ile uzay arasında böyle bir ayrım olması *gerektiği* o kadar da bariz değildir. Şeylerin uzayda bir yerden diğerine olduğu gibi, zamanda bir andan diğerine de o kadar öngörülemez ve keskin bir şekilde değiştiği bir dünya tasavvur edebiliriz. Ama içinde yaşadığımız gerçek evren böyle bir ayırıma sahip değil gibidir. İçinde evrendeki şeylerin evrildiği "zaman" fikri dünyanın mantıken gerekli bir parçası değildir; kendimizi fiilen içinde bulduğumuz gerçeklik üzerine düşünürken aşırı yararlı olan bir fikirdir.



Şekil 33: Fizik yasaları, dünyanın şimdi nasıl olduğu verildiğinde, bir an sonra neye evrileceğini söyleyen bir makine olarak düşünülebilir.

Dama tahtası A tarafından sergilenen kuralı "belli bir sütundaki bütün kareler aynı durumda," olarak belirledik. Bu bütün sütun için geçerli olan küresel bir betimlemedir. Ama kuralı başka bir yoldan, daha yerel bir karakterde, belli bir sırada ("zamanda bir an") başlayarak yukarı ya da aşağıya doğru ilerleyecek şekilde yeniden ifade edebiliriz. Kuralı, "belli bir karenin durumu verilirse, hemen üzerindeki kare aynı durumda olmalıdır," olarak da ifade edebiliriz. Diğer bir deyişle, gördüğümüz dağılımları *zamanda evrim* terimleriyle –belli bir anda karşılaştığımız durumla başlayarak, her seferinde bir sıra ileri (ya da geri) giderek– ifade

edebiliriz. Bu Şekil 33 içerisinde şematik olarak gösterildiği gibi, fizik yasaları üzerine düşünmenin standart yoludur. Zamanın bir anında dünyada ne olduğunu (diyelim evrendeki her parçacığın konumunu ve hızını) söyleyin, fizik yasalarının oluşturduğu kara kutu size dünyanın bir an sonra hangi duruma evrileceğini söylesin.[7] Süreci tekrarlayarak, tüm geleceği inşa edebiliriz. Ya geçmiş?

ZAMANI TEPETAKLAK ÇEVİRMEK

Hayali dünyalar açısından, bir dama tahtası biraz kısır ve sınırlayıcıdır. Bu küçük karelerin bir parti düzenlediğini ya da kahramanlık şiirleri yazdığını düşünmek zordur. Yine de dama tahtasında fizikçiler yaşasaydı, zamanın evrimini formüle eden yasaları yazdıktan sonra konuşacak ilginç şeyleri olurdu.

Örneğin dama tahtası A fiziği belli bir simetriye sahip gibidir. Böyle bir simetri *zaman-ötelemesi değişmezliğidir* – fizik yasalarının bir andan diğerine değişmedikleri yolundaki basit fikir. Bakış açımızı zamanda ileri ya da geri (sütunlarda aşağı ya da yukarı) kaydırabiliriz, ama "hemen üzerindeki kare aynı durumda olmalıdır" kuralı gerçekliğini sürdürür.[8] Simetriler hep böyledir: belli bir şey yaparsanız, bir şey fark etmez, kurallar yine aynı şekilde işler. Belirttiğimiz gibi, gerçek dünya da zaman kaymaları altında değişmezdir; fizik yasaları zaman geçtikçe değişmiyor gibidir.

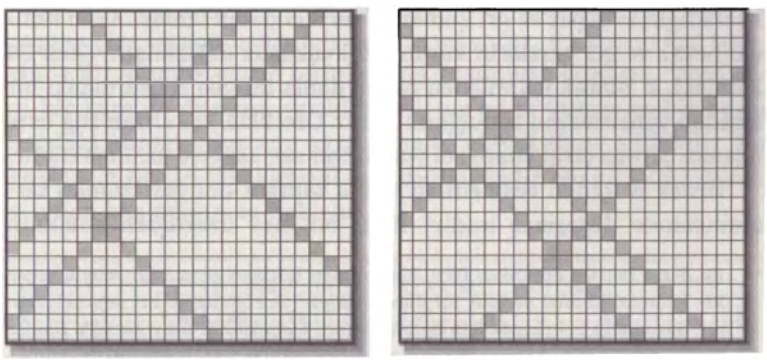
Dama tahtası A içinde başka bir simetri de dolanır: *zaman-tersinme değişmezliği.* Zaman tersinmesinin ardındaki fikir hayli

---

[7] Bu "zamanda bir an" işi, gerçek dünya (bildiğimiz kadarıyla) kesikli zaman adımlarına bölünmüş olmadığı için tam anlamıyla kesin değildir. Zaman süreklidir, bir zamandan diğerine düzgün bir şekilde akar ve aradaki olası tüm anlardan geçer. Ama bunda bir sorun yok; zaman sürekli olduğunda "her seferinde zamanda bir an sıçramaya" anlam verecek doğru matematiksel araç setini kalkülüs bize kesinlikle sağlar.

Uzayda ötelemelerin ve uzaysal tersyüz olmaların (sol ve sağ arasındaki yansıma) da mükemmel simetriler olduğuna dikkat edin. Bu, yalnızca resme bakarak o kadar bariz görünmez, ama bu yalnızca bizatihi durumların (0'ların ve 1'lerin dağılımlarının) uzaysal kaymalar ve yansımalar altında değişmez olmadıklarındandır. Bu ifadelerin tamamen anlamsız olduğunu düşünüyorsanız, var olmuş olabilecek, ama olmayan kimi simetriler de vardır. Örneğin zaman ile uzayın rollerini birbirleriyle değiştiremeyiz. Genel bir kural olarak, ne kadar simetriniz varsa, işler o kadar basitleşir.

basittir – sadece, zamanı tersine işletin. Sonuç "aynı gözüküyorsa" –yani özgün kuruluma göre aynı fizik yasalarına uyuyor gibiyse– kurallarda zaman-tersinme değişmezliği olduğunu söyleriz. Bunu bir dama tahtasına uygulamak için, tahtanın belli bir sırasını alın ve kareleri bu sıra boyunca dikey olarak yansıtın. Dama tahtasının kuralları aynı zamanda zaman kaymalarında da değişmezse, bütün sıralar eşit yaratıldığı için, hangi sırayı seçtiğimiz fark etmez. Özgün dağılımı betimleyen kurallar yeni dağılımı da betimliyorsa, dama tahtasının zaman-tersinme değişmezliğine sahip olduğu söylenir. Aynı renkten karelerden oluşan dikey, doğru sütunlara sahip olan A örneği açıkça zaman tersinmesi altında değişmez – yansıyan dağılımlar yalnızca aynı kurallara uymakla kalmaz; özgün dağılımın da tamamen aynısıdır.



Şekil 34: Soldaki dama tahtası B, her iki yöne de giden çapraz gri karelerle, dama tahtası A'ya göre biraz daha ayrıntılı bir dinamiğe sahip. Sağdaki dama tahtası B', B'yi orta sıradan yansıtarak zamanın yönünü değiştirdiğimizde elde edilendir.

Bu fikir konusunda daha sağlam bir izlenime sahip olabilmek için, daha ilginç bir örneğe bakalım. Şekil 34 içinde, "B" olarak adlandırdığımız başka bir dama tahtası gösterdik. Şimdi, aşağıdan yukarıya doğru giden iki farklı gri kare dağılımı var – her iki yana doğru da uzanan çapraz kare kümeleri. (Işık konilerine benziyorlar, değil mi?) Bir kez daha bu dağılımı, ilave bir hususu akılda tutmak koşuluyla, zamanda bir andan diğerine evrilme terimleriyle ifade edebiliriz: Herhangi bir sıra boyunca, belli bir karenin

beyaz ya da gri olduğunun kaydını tutmak yeterli olmaz. Aynı zamanda, varsa, ne türden bir çapraz gri kare sırasının o noktadan geçtiğinin de kaydını tutmalıyız. Her kareyi dört farklı durumdan biriyle işaretleyebiliriz: "beyaz," "yukarıya ve sağa giden çapraz gri çizgiler," "yukarıya ve sola giden çapraz gri çizgiler" ve "her iki yana da giden çapraz gri çizgiler." Herhangi bir sırada, basitçe 0'lar ve 1'ler işaretlesek de, bu bir sonraki sıranın ne olacağını kestirmemiz için yeterli olmaz.[9] Bu sanki bu evrende iki tür "parçacık" olduğunu bulmuşuz, bunlardan biri hep sağa, biri de hep sola gidermiş ama kendi aralarında etkileşime girmezlermiş ve birbirlerinin hareketlerine karışmazlarmış gibi bir şeydir.

Zaman tersinmesi altında dama tahtası B'ye ne olur? Bu örnekte zamanın yönünü tersine çevirdiğimizde, sonuç biçimsel olarak benzer olur, ama (zamanın tersine çevrilmesinin bize tamamen aynı başladığımız beyaz ve gri kümesini verdiği dama tahtası A'nın aksine) beyaz ve gri karelerin kurulumu kuşkusuz değişmiştir. Şekil 34 içindeki, B′ olarak işaretlenen panel, dama tahtası B üzerindeki bir sıradan yansıtmanın sonuçlarını verir. Özellikle, sol alttan sağ üste uzanan çapraz çizgi şimdi sol yukarıdan sağ aşağıya uzanmaktadır.

Örnek B içinde resmedilen dama tahtası dünyası zaman tersinmesinde değişmez midir? Belli bir sıra üzerinden zamanın

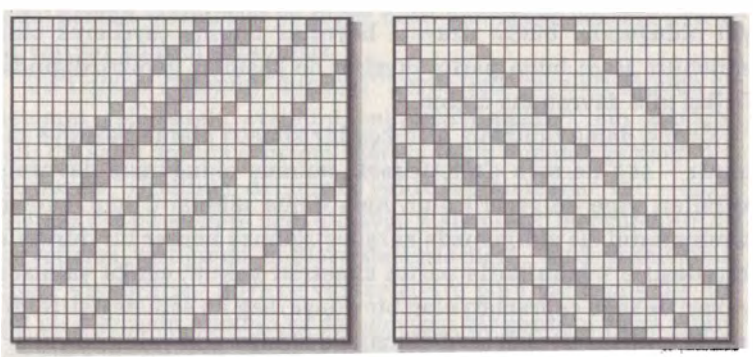
---

[9] Bu dama tahtası dünyaları fikri, kimi zaman *hücresel otomatlar* adıyla geçer. Bir hücresel otomat sadece, bir önceki sıranın durumundan bir sonraki sıranın durumunu belirlemek için bazı kurallara uyan kesikli bir ızgaradır. Bunlar ilk kez 1960'larda, entropinin kuantum mekaniğinde nasıl işlediğini de bulmuş olan John von Neumann tarafından araştırılmıştır. Hücresel otomatlar zaman okuyla pek de ilgisi olmayan birçok nedenden dolayı büyüleyicidir; çok fazla karmaşık olabilir ve evrensel bilgisayarlar olarak işlev görebilirler. *Bkz.* Poundstone (1984) veya Shalizi (2009). Onları yalnızca zamanın tersinmesi ve bilgi saklanmasının birkaç basit özelliğini göstermek için ortaya çıkartmakla hücresel otomatlara saygısızlık etmekle kalmıyor, aynı zamanda hücresel otomatların uzmanlarının alışıldık dilini de kullanmıyoruz. Birincisi bilgisayar bilimciler normalde zamanın yukarıdan aşağıya doğru aktığını tasavvur ederler. Bu çılgıncadır; bir diyagramda zamanın aşağıdan yukarıya doğru ilerlediğini herkes bilir. Daha da dikkat çekici olan, her kare "beyaz" ya da "gri" durumdaymış gibi konuşuyor olsak da, Örnek B olarak adlandırdığımızın içinde, geleceğe doğru güvenilir bir şekilde evrilebilmek için daha fazla bilgiye ihtiyacımız olduğunu biraz önce kabul ettik. Bu bir sorun değil; bu yalnızca "hücrelerin" iki farklı durumdan fazlasına sahip olabilecekleri bir otomatla uğraştığımız anlamına geliyor. Beyaz ve grinin ötesine gidip karelerin herhangi dört renkten birinde olduğu bir durumu tasavvur edebiliriz. Ama elimizdeki durumda, bu özellikle işin içine sokmamıza gerek olmayan bir karmaşıklık düzeyi.

yansıtılmasıyla bireysel beyaz ve gri diziliminin değişmesi önemli değildir; önemli olan "fizik yasalarının," kare dağılımlarının uyduğu kuralların etkilenmemiş olmasıdır. Özgün örnek B içinde, zaman tersinmeden önce, kurallar, her iki tarafa da giden, iki tür çapraz gri kare çizgileri olduğu yönündeydi; aynı şey örnek B' için de geçerlidir. İki tür çizginin aralarında kimlik değiştirmiş olmaları aynı tür iki çizginin öncesinde de sonrasında da görüldüğü olgusunu değiştirmez. Bu nedenle, dama tahtası B içinde yaşayan hayali fizikçiler kuşkusuz doğanın yasalarının zamanın tersinmesiyle değişmediğini iddia edeceklerdir.

AYNADAN BAKINCA

O zaman, Şekil 35 içindeki dama tahtası C'ye ne demeli? Bir kez daha, kurallar hayli basit görünüyor: sol alttan sağ üste uzanan çapraz çizgilerden başka bir şey görmüyoruz. Bu kuralı her seferinde bir adımlık evrim terimleriyle düşünmek istersek, "herhangi bir karenin durumu verildiğinde, bir adım yukarı ve bir adım sağdaki karenin durumu aynı olmalı," olarak ifade edilebilir. Bu kuşkusuz zamandaki kaymalarda değişmezdir, çünkü kural, hangi sıradan başladığınıza bakmaz.



Şekil 35: Dama tahtası C içinde yalnızca sol alttan sağ üste uzanan çapraz gri kare çizgileri vardır. Zamanı tersine çevirip C' elde edersek, yalnızca sağ alttan sol üste uzanan çizgiler elde ederiz. Kesin konuşursak, dama tahtası C zaman tersinmesinden değişmez değildir, ama hem uzayda yansıma hem de zamanda tersinmenin her ikisinde birden değişmezdir.

Eğer dama tahtası C içinde zamanın yönünü tersine çevirirsek, şekilde gösterilen dama tahtası C′ gibi bir şey elde ederiz. Bu açıkça öncekine göre farklı bir durum. C′ içinde geçerli kurallar C içinde uyulanlarla aynı değil – sol alttan sağ yukarıya uzanan çapraz çizgilerin yerini, ters yöndeki çapraz çizgiler almış. Bu dama tahtalarından birinde yaşayan fizikçiler, zaman tersinmesinin gözlemledikleri doğa yasalarının bir simetrisi *olmadığını* söyleyeceklerdir. "Zamanda ileri" ile "zamanda geri" arasındaki farkı ayırt edebiliriz – ileri, çapraz çizgilerin sağa doğru ilerlediği yöndür. Hangi yönü "gelecek" olarak işaretleyeceğimiz tamamen bize kalmış bir şeydir, ama bir kez bu işaretlemeyi yaptığımızda, belirsiz bir şey kalmaz.

Ama kuşkusuz bu öykünün sonu değildir. Dama tahtası C, tanımladığımız şekliyle tam anlamıyla zaman tersinmesinde değişmez olmasa da bu konuda "tersinir" bir şey de var. Bakalım bulabilecek miyiz?

Zaman tersinmesine ek olarak, dama tahtasını belli bir sütun etrafında *yatay* olarak döndürerek "uzay tersinmesini" de ele alabiliriz. Bu gerçek dünyada bir şeylere aynadan bakarak elde edebileceğimiz bir şeydir; uzay tersinmesini bir şeyin aynadaki görüntüsünün alınmış durumu olarak düşünebiliriz. Fizikte buna "parite" denir ve (uzayda dama tahtasındaki gibi tek değil, üç boyut olduğunda) bütün uzaysal boyutlar tersine çevrilerek elde edilebilir. Hadi buna parite diyelim de koşullar gerektirdiğinde, fizikçi gibi davranmış olalım.

Özgün dama tahtamız A açıkça bir simetri olarak pariteye sahiptir – sağ ile solu değiştirirsek, bulmuş olduğumuz davranış kuralları yine de geçerli olur. Ama dama tahtası C için, zaman tersinmesini ele aldığımızda karşılaştığımıza benzer bir durumla karşılaşırız – kurallarda parite simetrisi yoktur, çünkü yalnızca yukarı ve sağa çaprazları olan bir dünya, sağ ile solu değiştirdiğimizde, zamanı tersine çevirdiğimizde olduğu gibi yalnızca yukarı ve sola çaprazları olan bir dünyaya dönüşür.

Yine de dama tahtası C′yi alıp hem bir zamanda tersinme hem de uzayda bir parite tersyüz etmesi uygularsak, başlangıçtaki kurallar bütününe dönmüşsünüz gibi olur. Zamanı tersine çevirmek bir tür çaprazı diğerine dönüştürür, uzayı yansıtmak da onları eski durumuna çevirir. Bu tamamen doğrudur ve temel fizikte za-

manı tersine çevirmenin önemli bir özelliğini ortaya koyar: belli bir fizik kuramının zamanın yönünü tersine çeviren ama başka bir şey yapmayan "naif zaman tersinmesi" altında değişmez olmadığı, ama kuramın, hem zamanın yönünü tersine çeviren hem de başka bir şeyler de yapan uygun bir genelleşmiş simetri dönüşümü altında değişmez olduğu sık sık görülen bir durumdur. Bunun gerçek dünyada nasıl işlediği biraz inceliklidir ve fizik kitaplarında sıklıkla ele alındığı şekilde çok daha karmaşık hale gelir. Bu yüzden dama tahtalarının bodur dünyasını bırakalım ve gerçek evrene bir göz atalım.

SİSTEMİN DURUMU SÖYLEVİ

Fizikçilerin sıklıkla gerçek dünyayı betimlemekte kullandıkları kuramlar altta yatan, "zaman içinde evrilen" bir "durum"un çerçevesini paylaşırlar. Bu Newton tarafından bir araya getirilen klasik mekanik, genel görelilik ya da kuantum mekaniğinden, kuantum alan kuramına ve parçacık fiziğinin Standart Modeline kadar geçerlidir. Dama tahtalarımızdan birinde bir durum, her biri gri ya da beyaz (ve belki de bazı ek bilgiler içeren) karelerin oluşturduğu bir yatay sıradır. Gerçek dünya fiziğine farklı yaklaşımlarda, bir "durum" olarak kabul edilen başka bir şey olacaktır. Ama her vakada, zaman tersinmesi ve diğer olası simetriler üzerine benzer bir sorular kümesi sorabiliriz.

Bir fiziksel sistemin "durumu" "verili fizik yasaları altında bir sistemin gelecekteki evrimini belirleyebilmeniz[10] için zamanın belli bir sabit anında o sistem üzerine sahip olmanız gereken tüm bilgilerdir." Özellikle, aklımızda yalıtılmış sistemler var – öngörülemez dış kuvvetlere açık olmayan sistemler. (Öngörülebilir dış kuvvetlerin varlığında bunları sistemle ilgili "fizik yasalarının" içinde sayabiliriz.) Böylece varsayımlara göre yalıtılmış bir sistem olan evrenin tümünü ya da herhangi bir gezegen ya da yıldızdan uzak bir uzay gemisini ele alabiliriz.

[10] Fizik yasaları tamamen belirlenimci olmasaydı –kimi rastgele, stokastik unsurlar içerseydi– o zaman gelecekteki evrimin "belirlenmesi" kesinlikler değil, olasılıklar içerecekti. Durum şu ki, üzerinde çalıştığımız fizik yasalarına göre, durum olabildiğince gerekli tüm bilgiyi içerir.

Önce klasik mekaniği düşünün – Sir Isaac Newton'ın dünyasını.[11] Newton mekaniğinde bir sistemin gelecekteki evrimini öngörebilmek için hangi bilgiye gerek duyarız? Yanıtı zaten vermiştim. Sistemdeki her bileşenin konumu ve hızı. Ama buna kademeli olarak yaklaşalım.

Birisi "Newton mekaniğini" ortaya attığında, er ya da geç bilardo toplarıyla oynayacağınızı bilirsiniz.[12] Ama tam anlamıyla geleneksel sekiz toplu bilardo olmayan bir oyun tasavvur edelim; bu eşsiz, farazi, "fizikçi bilardosu" olarak adlandırabileceğimiz bir düzenek olsun. Karmaşıklıklardan kurtulup işlerin özüne inme hevesiyle, biz fizikçiler gürültü ve sürtünmenin olmadığı bilardo oyunları tasavvur ederiz, böylece kusursuz yuvarlaklıkta küreler hiç enerji kaybetmeden masada yuvarlanıp çarpışırlar. Gerçek bilardo topları hiç de böyle davranmaz – birbirleriyle çarpışıp çuhanın üzerinde yuvarlanırlarken bir miktar kayıp ve ses olur. Bu iş başındaki zaman okudur, gürültü ve sürtünme entropi yaratır – bu yüzden bu karmaşıklıkları bir anlığına bir kenara bırakıyoruz.

Masada tek başına hareket eden tek bir topla başlayalım. (Birçok topa genellemek zor olmaz.) Hiç enerji kaybetmediğini ve her çarptığında temiz temiz bantlardan sektiğini tasavvur ediyoruz. Bu problemin amaçları açısından "banttan temiz temiz sekmek" kapalı sistemimiz olan bilardo topunun "fizik yasalarının" bir parçasıdır. Bu durumda, bu tek topun durumu olarak geçerli olan nedir?

Topun zamanın herhangi bir anındaki durumunun sadece masadaki konumu olduğunu düşünebilirsiniz. Ne de olsa, masanın bir fotoğrafını çekersek görüleçek olan budur – topun nerede olduğunu görürsünüz. Ama durumu sistemin gelecekteki evrimini

---

[11] Bazıları göreliliği ayrı bir kuram olarak ele alıp "klasik mekanik" ile "göreli mekanik" arasında bir ayrım yapar. Ama çoğunlukla, böyle yapmazlar. Genelde, göreliliği tamamen yeni bir düşünce tarzı ortaya koymak yerine, klasik mekaniğin özel bir türü olarak düşünmek daha mantıklıdır. Örneğin bir sistemin durumunu belirtme yolu, görelilikte de Newton mekaniğinde olanın aynısıdır. Diğer yandan, kuantum mekaniği gerçekten hayli farklıdır. Bu yüzden *klasik* sıfatını ortaya attığımızda, başka türlüsü belirtilmediği durumlarda, bu *kuantumla* bir tezadı gösteriyor olacaktır.

Her ne kadar o sıralarda İngiltere'de bilardo kesinlikle var olmuş olsa da hiç olmazsa ben, Newton'ın bilardo oynayıp oynamadığını bilmiyorum. Diğer yandan, Immanuel Kant'ın öğrenciliğinde bilardo (ve kâğıt) oynayarak harçlığını çıkarttığı biliniyor.

öngörmek için gerekli tüm bilgi olarak tanımladık ve yalnızca konumu belirtmek açıkça yeterli olmaz. (Yalnızca) topun tam olarak masanın ortasında olduğunu söylersem ve bir saniye sonra nerede olacağını öngörmenizi istersem, çaresiz kalırsınız, çünkü topun nereye doğru hareket ettiğini bilmiyor olursunuz.

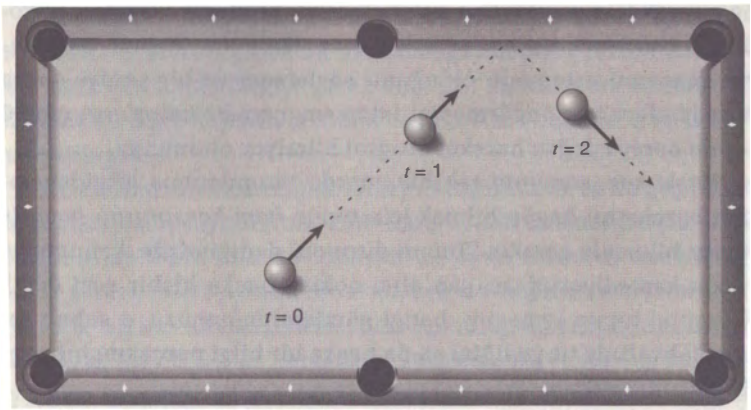
Kuşkusuz, zamanın tek bir anında tanımlanmış bilgiden topun hareketini öngörebilmek için topun *hem konumunu hem de hızını* bilmeniz gerekir. "Topun durumu" dediğimizde, konumu ve hızını kastediyoruz ve –can alıcı nokta– başka hiçbir şeyi değil. (Örneğin) topun ivmesini, hangi günde olduğumuzu, o sabah topun kahvaltıda ne yediğini ya da başka bir bilgi parçasını bilmeye ihtiyacımız yoktur.

Klasik mekanikte parçacıkların hareketini genellikle hızla değil, *momentumla* nitelendiririz. "Momentum" kavramı yaklaşık 1000 yıl öncesine, İranlı düşünür İbn Sina'ya (Batıda Avicenna olarak Latinceleştirilmiştir) kadar uzanır. "Eğilimin" –ağırlık çarpı hız– dış etkilerin yokluğunda sabit kaldığı bir hareket kuramı önermişti. Momentum bize bir nesnenin ne kadar azimli olduğunu ve ne yönde hareket ettiğini gösterir;[13] Newton mekaniğinde bu kütle çarpı hıza eşittir ve görelilikte de hız ışık hızına yaklaştığında momentumun sonsuza gideceği şekilde bu formül biraz değiştirilmiştir. Sabit kütlesi olan herhangi bir nesne için, momentumu bildiğinizde hızı da bilirsiniz ya da tersi. Dolayısıyla tek bir parçacığın durumunu, konumu ve momentumunu vererek belirtebiliriz.

Bilardo topunun konumunu ve momentumunu bilirseniz, masanın üzerinde dolaşırken katettiği tüm güzergâhını öngörebilirsiniz. Top serbestçe herhangi bir banda çarpmadan hareket ettiğinde, momentum aynı kalır, konumu da bir doğru parçası üzerinde sabit bir hızla değişir. Top bir banda çarptığında, momentum aniden bandın tanımladığı çizgiye göre yansır, sonrasında da sabit hızla ilerlemeyi sürdürür. Yani seker. Basit şeylerin karmaşık görünmesine neden oluyorum, ama çılgınlığın arkasında bir yöntem var.

---

[13] Yani momentum yalnızca bir sayı değildir; bir vektördür, genelde küçük bir okla işaretlenir. Bir vektör bir büyüklük (uzunluk) ve bir yön olarak ya da uzayın her yönü doğrultusunda uzanan alt-vektörlerle (bileşenler) tanımlanabilir. İnsanların, örneğin "x-yönündeki momentum" diye konuştuklarını duyabilirsiniz.



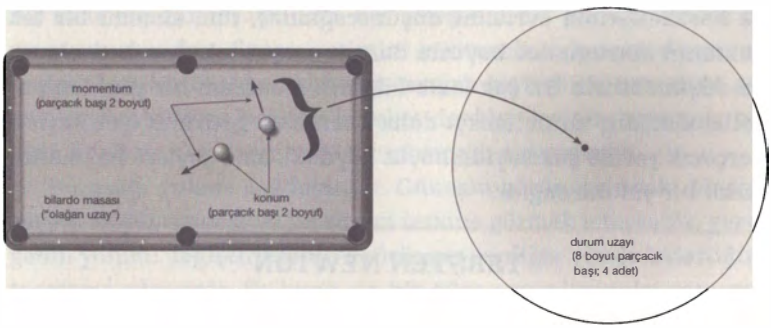
Şekil 36: Sürtünmesiz bir masada tek başına hareket eden bir bilardo topu. Zamanda üç farklı an gösterilmiştir. Oklar topun momentumunu gösterir; top bir banttan sekene kadar bu sabit kalır.

Newton mekaniğinin tamamı böyledir. Aynı masada birçok bilardo topunuz varsa, sistemin toplam durumu sadece bütün topların konum ve hızlarının bir listesidir. İlgilendiğiniz Güneş Sistemiyse, durum her gezegenin ve Güneşin konumu ve momentumudur. Ya da daha kapsayıcı ve gerçekçi olmak istiyorsak, durumun aslında bu nesneleri oluşturan bütün parçacıkların konum ve momentumları olduğunu kabul etmemiz gerekir. İlgilendiğiniz kız arkadaşınız ya da erkek arkadaşınızsa, yapmanız gereken bedenindeki her atomun konum ve momentumunu kesinlikle belirtmektir. Klasik mekaniğin kuralları yalnızca halihazırdaki bilgilerle sistemin nasıl gelişeceği üzerine belirsizliğe yer vermeyen öngörülerde bulunmayı sağlar. Bu listeyi verdiğinizde, Laplace'ın şeytanı kumandayı ele alır ve tarihin gerisi belirlenir. Siz Laplace'ın şeytanı kadar akıllı değilsiniz, aynı miktarda bilgiye erişiminiz de yok bu nedenle kız arkadaşlar ve erkek arkadaşlar esrarengiz olmayı sürdürecekler. Üstelik, onlar açık sistemler bu yüzden dünyanın geri kalanını da bilmeniz gerekiyor.

Sık sık "sistemin içinde bulunabileceği olası tüm durumlar" üzerine düşünmek uygun olabilir. Buna sistemin *durum uzayı* denir. Uzay sözünün iki farklı anlamda kullanıldığına dikkat edin. Bir "uzay" var, evrende fiili nesnelerin içinde hareket ettiği fiziksel arena, bir de bir tür matematiksel nesneler yığını (neredeyse bir

"küme" gibi, ama ek yapılar olasılığının bulunduğu bir şey) olarak daha soyut "bir uzay" mefhumu. Durum uzayı, ele alınan fizik yasalarına bağlı olarak farklı biçimler alabilen *bir* uzaydır.

Newton mekaniğinde, durum uzayına hayli esrarengiz nedenlerden ötürü "faz uzayı" denir. Bu sistemdeki her nesnenin olası tüm konumlarıyla momentumlarının bir yığınıdır. Dama tahtalarımız için, durum uzayı bir sıradaki tüm beyaz ve gri karelerin olası tüm dizilimleri, bir de çapraz çizgilerin kesiştikleri noktalar için olası bazı ek bilgilerden oluşur. Kuantum mekaniğine geçersek, durum uzayı kuantum sistemini betimleyen tüm olası dalga fonksiyonlarından oluşur; bunun için kullanılan teknik terim *Hilbert uzayıdır*. Herhangi bir iyi fizik kuramının bir durum uzayı, bir de belli bir durumun zaman içinde nasıl evrildiğini gösteren kuralları vardır.



Şekil 37: Bir bilardo masasında iki top ve bunlara karşılık gelen durum uzayı. Her top masadaki konumunun belirtilmesi için iki sayı, momentumunun belirtilmesi için de iki sayı gerektirir. Her iki parçacığın eksiksiz durumu, sağdaki sekiz boyutlu uzaydaki bir noktadır. Sekiz boyutu çizemeyiz, ama orada olduğunu tasavvur etmelisiniz. Masaya eklenen her top, durum uzayına dört boyut ekler.

Durum uzayı, normal uzay sadece üç boyutlu olduğunda bile muazzam sayıda boyuta sahip olabilir. Bu soyut bağlamda, bir "boyut" yalnızca "uzayda bir noktayı belirtmek için gereken sayıdır." Durum uzayında, sistemdeki *her parçacık* için, her konum bileşeni için bir boyut, her momentum bileşeni için de bir boyut vardır. Düz iki boyutlu masada hareket etmekle kısıtlı bir bilardo topu için, konumu belirtmek amacıyla iki sayı (çünkü masa iki boyutludur)

ve bir büyüklüğü bir de yönü olan momentum için de iki sayı vermemiz gerekir. Bu nedenle iki boyutlu bir masayla kısıtlı tek bir bilardo topunun durum uzayı dört boyutludur: konumu belirten iki sayı, momentumu belirten iki sayı. Masada dokuz top olsaydı, her topun konumu için iki sayı, yine her topun momentumu için de iki sayı vermemiz gerekirdi, böylece toplam faz uzayı otuz altı boyutlu olacaktı. Konum ve momentum için hep aynı sayıda boyut gerekir, çünkü gerçek uzayın her yönünde bir momentum olabilir. Havada uçan ve üç boyutlu uzayda serbestçe hareket eden tek bir parçacık olarak düşünebileceğimiz bir beysbol topu için durum uzayı altı boyutlu olacaktır; bin parçacık için, 6000 boyutlu olurdu.

Gerçekçi vakalarda durum uzayı gerçekten de büyük olur. Gerçek bir bilardo topu yaklaşık 10^{25} atomdan oluşur ve durum uzayı da bunların hepsinin konum ve momentumlarının bir listesidir. Tüm bu atomların bireysel momentumlarıyla üç boyutlu uzayda hareketlerinin evrimini düşüneceğimize, tüm sistemi bir tek noktanın (durum) dev boyutlu durum uzayındaki hareketi olarak da düşünebiliriz. Bu çok fazla bilginin muazzam bir yeniden paketlenmesidir; tanımlamayı daha basit hale getirmez (çok sayıda parçacık yerine çok sayıda boyut koyduk), ama şeylere bakmanın farklı bir yolunu sağlar.

TERSTEN NEWTON

Newton mekaniği zaman tersinmesinde değişmezdir. Masada bantlardan sekerek dolaşan bilardo topunun filmini çekerseniz, hiç kimse filmin ileri mi yoksa geri mi oynatıldığını ayırt edemez. Her iki durumda da bantlardan sekene kadar sabit hızla dosdoğru ilerleyen topu görürsünüz.

Ama öykünün tümü bu değildir. Dama tahtası dünyasına geri dönersek, zaman tersinmesinde değişmezliği, sistemin durumlarının sıralamasının zamandaki dizilimini değiştirebileceğimiz ama sonucun yine de fizik yasalarına uyacağı fikri olarak tanımladık. Dama tahtasında, durum beyaz ve gri karelerden oluşan bir sıraydı; bilardo topumuz için, durum uzayında bir noktadır – yani topun konumu ve momenti.

Şekil 36'da topun güzergâhının ilk bölümüne bakın. Top tekbiçimli olarak yukarı ve sağa doğru hareket ediyor, momentum

da sabit bir değerde kalmış, yukarı ve sağa doğru bakıyor. Bunun zamanda tersine çevrilmiş durumu da topun yukarı sağdan aşağı sola doğru bir dizi konumu ve bir dizi sabit, *yukarı ve sağa yönelmiş* momentum olur. Ama bu çılgınlık. Top zamanda tersine dönmüş bir güzergâhta ilerliyorsa, momentum da kuşkusuz o yönde, topun hızıyla aynı yöne bakmalıdır. Açıkça, özgün, zamanda sıralı durum kümesini alıp tam olarak aynı durumları zamanda geriye doğru oynatmaktan oluşan basit reçete bize fizik yasalarına (ya da görünüşte mantığa) uyan bir güzergâh *vermez*. (Momentum nasıl olur da hızın tersini gösterebilir? Hız çarpı kütleye eşittir.[14])

Bu sıkışmış açmazın sonucu hayli basittir. Klasik mekanikte, zaman tersinmesi işlemini sadece özgün durum kümesini tersine oynatmak olmayacak, aynı zamanda *momentumları da tersine çevirecek* şekilde *tanımlarız*. Ve o zaman da gerçekten klasik mekanik zaman tersinmesinde kusursuz biçimde değişmez olur. Bana bir sistemin zaman içindeki, her bileşenin her andaki konum ve momentumundan oluşan evrimini verirseniz, o zaman durumun momentum kısmını her noktada tersine çevirebilir, zamanda geriye oynatabilir ve Newton hareket denklemlerinin kusursuz bir çözümünü de oluşturan yeni bir güzergâh elde ederim.

Bu aşağı yukarı sağduyudur. Güneşin yörüngesindeki bir gezegeni düşünürseniz ve bu süreci tersine görmek isterseniz, gezegenin yolunu değiştirdiğini ve yörüngesini diğer yönde katettiğini tasavvur edersiniz. Ve bunu da bir süre seyrederseniz, sonucun yine de kusursuz bir şekilde akılcı bir davranış olduğu sonucuna varırsınız. Ama bunun nedeni, beyninizin momentumu otomatik bir şekilde, hiç düşünmeden tersine çevirmiş olmasıdır – gezegen

[14] Bu gerçekten de güzel ama yıllar boyunca canımı sıkan bir sorudur. İnsan klasik mekanik çalışırken, çeşitli noktalarda öğretmenlerinin kaygısızca sistemin fiili güzergâhıyla tamamen uyumsuz momentumlardan söz ettiğini duyduğu zamanlar olur. Ne oluyor? Sorun şu ki, ilk kez "momentum" kavramıyla tanıştırıldığımızda, bu tipik bir şekilde kütle çarpı hız olarak tanımlanır. Ama yol boyunca bir yerlerde, klasik mekaniğin daha olağandışı âlemlerine daldığınızda, bu fikir bir tanım olmaktan çıkıp altta yatan kuramdan türetebileceğiniz bir şey olur. Diğer bir deyişle, momentumun özünü "parçacığın yolu boyunca her noktada tanımlanan bir vektör (büyüklük ve yön)" olarak düşünmeye başlarız, sonra da hareketin, momentumun kütle çarpı hıza eşit olduğu denklemler türetiriz. (Buna, dinamiğe Hamilton yaklaşımı adı verilir.) Zaman tersinmesi tartışmamızda da böyle düşünüyoruz. Momentum bağımsız bir niceliktir, sistemin durumunun bir parçası; yalnızca fizik yasalarına uyulduğunda kütle çarpı hıza eşittir.

açık bir şekilde ters yönde hareket etmektedir. Bunu fazla önemsemeyiz, çünkü momentumu konumu gördüğümüz gibi *görmeyiz*, ama o yine de durumun, konumun olduğu kadar bir parçasıdır.

Dolayısıyla Newton mekaniğinin zaman tersinmesinin en naif tanımı altında değişmez olduğu *doğru değildir*: zaman içinde uygun bir durum silsilesini alın, sırasını tersine çevirin ve yeni silsilenin fizik yasalarına uygun olup olmadığını sorun. Ve kimse de bundan, birazcık bile rahatsız olmaz. Tersine, sadece daha karmaşık bir zaman tersinmesi sürümü tanımlarlar: zaman içinde uygun bir durum silsilesi alın, her bireysel durumu basit ve belli bir yoldan dönüştürün, sonra sıralamasını değiştirin. "Dönüşümle" kastedilen, her durumu önceden belirlenmiş bir kurala göre değiştirmektir; Newton mekaniğinin durumunda, ilgili dönüşüm "momentumu tersine çevirmektir." Her bireysel durumu, zamanı tersinmiş durum silsilesi fizik yasalarına uygun olacak şekilde dönüştürecek basit bir yol bulabilirsek, büyük bir başarı edasıyla bu yasaların zaman tersinmesi altında değişmez olduğunu ilan ederiz.

Bu bize dama tahtası C içindeki çapraz çizgileri anımsatır (ya da ana planım başarılı olsaydı, anımsatmalıydı). Orada, dama tahtası C' içinde gösterildiği gibi sadece durumların zaman sıralamasını değiştirirseniz, sonucun özgün dağılıma uymadığını, dolayısıyla dama tahtası C'de naif zaman tersinmesi değişmezliği olmadığını gördük. Ama önce dama tahtasını sağdan sola döndürsek, sonra zamanın yönünü değiştirsek, o zaman sonuç özgün kurallara *uyacaktı*. Yani dama tahtası C'nin bu daha karmaşık anlamda gerçekten zaman tersinmesinde değişmez olmasını sağlayacağı şekilde bireysel durumları (sıralar ve kareler) dönüştürmek için iyi tanımlanmış bir prosedür var.

Fiilen zamanı tersine çevirmenin yanında, durumları dönüştürmeyi de içeren zaman tersinmesi mefhumu biraz kuşkulu görünebilir, ama bu fizikçilerin hep yaptıkları bir şeydir. Örneğin elektrik ve manyetizma kuramında, zaman tersinmesi elektrik alanını değiştirmez ama manyetik alanın yönünü değiştirir. Bu sadece gerekli dönüşümün bir parçasıdır; hem manyetik alan hem de momentum biz zamanı tersine çevirmeden önce tersine çevrilir.[15]

[15] David Albert (2000) burada radikal bir şekilde farklı bir görüş öne sürmüştür. "Durum"un parçacıkların konumları ve momentumları olarak değil (bunu "dinamik koşul" olarak adlandırmalıyız), yalnızca konumları olarak tanım-

Buradan çıkartılacak ders, "bu kuram zaman tersinmesi altında değişmezdir" ifadesinin, gündelik konuşmada, "zamanın yönünü tersine çevirirsin ve kuram yine de geçerlidir" anlamına gelmediğidir. Bu "her zaman için durumu basit bir şekilde dönüştürürsün, sonra da zamanın yönünü tersine çevirirsin, kuram yine de geçerli olur" gibi bir şeyler demek olur. Doğrusunu söylemek gerekirse, temel fizik kavramlarının tanımlarına basit bir yoldan gibi tümceler sokmaya başladığımızda, bu biraz kuşkulu gözükmeye başlar. Neyin yeterince basit olduğuna kim karar verecek ki?

Eninde sonunda, bu çok da önemli değildir. Zamanın her anında belli bir sistemin durumuna uygulayabileceğiniz, zamanı tersinmiş evrimin özgün fizik yasalarına uymasını sağlayan *bir* dönüşüm varsa, bunu "zaman tersinmesi altında değişmez" olarak tanımlayabilirsiniz. Ya da bunu, zaman tersinmesiyle ilgili ama tam olarak da aynı şey olmayan başka bir simetri olarak da adlandırabilirsiniz. Adların önemi yoktur; önemli olan yasaların uyduğu ya da çiğnediği tüm çeşitli simetrileri anlamaktır. Parçacık

---

lanması gerektiğini önerir. Bunu, durumların zamanın her anında mantıksal olarak bağımsız olmaları gerektiğini öne sürerek doğrular – gelecekteki durum şimdiki duruma bağlı olmamalıdır ki şimdiki tanımlamamızda açıkça bağlıdır, bütün mesele de buradadır. Ama şeyleri böyle yeniden tanımlayarak Albert zaman tersinmesi değişmezliğinin en doğrudan tanımıyla yaşayabilmektedir: yolda herhangi bir keyfi görünüşlü dönüşüme başvurmadan, "zamanda geriye doğru oynatılan bir durumlar silsilesi aynı fizik yasalarına uymayı sürdürür." Ödediği bedel de her ne kadar Newton mekaniği bu tanım altında zaman tersinmesinde değişmez olsa da, klasik elektromanyetizma da aralarında olmak üzere neredeyse başka hiçbir kuramın olmamasıdır. Albert bunu kabul eder; elektromanyetizmanın zaman tersinmesi altında değişmez olduğu yolunda Maxwell tarafından modern ders kitaplarına sokulan geleneksel anlayışın yanlış olduğunu öne sürer. Hemen tahmin edilebileceği gibi, bu duruş bir suçlama salvosuna hedef olmuştur; *bkz*. örneğin Earman (2002), Arntzenius (2004) ya da Malament (2004).

Çoğu fizikçi bunun öneminin olmadığını söyleyecektir. Zaman tersinmesi değişmezliğinin, dünyada bir yerlerde yakalamamızı bekleyen tek gerçek anlamı diye bir şey yoktur. Yalnızca çeşitli kavramlar vardır, bunları dünyanın nasıl işlediğini düşünmekte yararlı buluruz ya da bulmayız. Hiç kimse elektronların bir manyetik alanın varlığında nasıl hareket ettiği konusunda anlaşmazlığa düşmez; yalnızca bu durumu betimlemekte kullanılan sözcükler üzerinde anlaşamazlar. Fizikçiler filozofların sözcüklere bu kadar önem vermesi karşısında duydukları şaşkınlığı ifade etmeye eğilimlidir. Filozoflar da fizikçilerin hep aslında anlamını bilmedikleri sözcükleri kullanabilmeleri karşısında duydukları öfkeyi ifade etmeye eğilimlidir.

fiziğinin Standart Modelinde, doğrusu, tam da durumları zamanda geriye doğru ilerleyip özgün hareket denklemlerine uyacakları bir şekilde dönüştürmek mümkündür, ama fizikçiler bunu "zaman tersinmesinde değişmez" olarak *adlandırmamayı* seçmişlerdir. Bunun nasıl olduğuna bakalım.

PARÇACIKLARI TERSİNE YÜRÜTMEK

Temel parçacıklar aslında klasik mekanik kurallarına uymazlar; kuantum mekaniğine göre işlerler. Ama temel ilke hâlâ aynıdır: durumları öyle bir yoldan dönüştürürüz ki, dönüşümden sonra zamanın yönünü tersine çevirmek bize özgün kurama kusursuz şekilde uyan bir çözüm sağlasın. Sık sık parçacık fiziğinin zaman tersinmesi altında değişmez olmadığını duyarsınız, ara sıra da esrarengiz bir şekilde bunun zaman okuyla bir ilişkisi olduğu söylenir. Bu yanıltıcıdır; temel parçacıkların zaman tersinmesi altındaki davranışının zaman okuyla hiçbir şekilde bir ilişkisi yoktur. Ama bu, onun kendi başına ilginç bir konu olmasını engellemez.

Temel parçacık fiziğinin zaman tersinmesinde değişmez olup olmadığını soruşturacak bir deney yapmak istediğimizi tasavvur edin. Parçacıkların işin içine girdiği belli bir süreç ele alıp, onu zamanda geriye doğru işletmeyi düşünebilirsiniz. Örneğin iki parçacık etkileşime girip (bir parçacık hızlandırıcısında olduğu gibi) başka parçacıklar yaratabilirler ya da bir parçacık bozunup birçok başkasına dönüşebilir. Böylesi bir sürecin ileri ya da geri oluşması farklı zamanlar alıyorsa, bu zaman tersinmesi değişmezliğinin çiğnendiği anlamına gelir.

Atom çekirdekleri nötronlar ve protonlardan, onlar da kuarklardan oluşur. Nötronlar bir çekirdeğin içinde mutlu-mesut protonlar ve başka nötronlarla çevriliyseler, istikrarlı olabilirler, ama kendi başlarına kaldıklarında birkaç dakikada bozunurlar. (Nötron biraz dram meraklısı, ilgi düşkünüdür.) Sorun, nötronun bir proton, bir elektron bir de nötrino (çok hafif, yüksüz bir parçacık) şeklinde bozunmasıdır.[16] Bir proton, bir elektron ve bir nötrinoyu

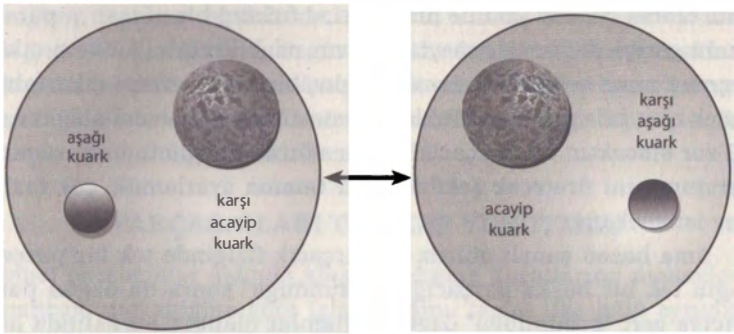
[16] Temel parçacıklar "fermiyon" adı verilen "madde parçacıkları" ve "bozon" adı verilen "kuvvet parçacıkları" şeklinde olurlar. Bilinen bozonlara elektromanyetizma taşıyan fotonlar, yeğin (kuvvetli) çekirdek kuvvetini taşıyan gluonları ve zayıf çekirdek kuvvetlerini taşıyan *W* ve *Z* bozonları dahildir. Bilinen

tam olarak gerekli şekilde birbirlerine fırlatıp bir nötron yaparak bunu geriye doğru işletmeyi tasavvur edebilirsiniz. Ama bu etkileşme zaman tersinmesi üzerine ilginç bir şeyler ortaya çıkartabilecek olsa bile pratik zorlukların üstesinden gelinmesi olağanüstü zor olacaktır; bu parçacıkları bir nötron bozunumunun zaman tersinmesini üretecek şekilde tamı tamına ayarlamak, çok fazla şey istemek olur.

Ama bazen şanslı oluruz ve parçacık fiziğinde tek bir parçacığın tek bir başka parçacığa "bozunduğu" sonra da özgün parçacığa geri "bozunduğu" özgül bağlamlar olabilir. Bu aslında bir bozunum değildir bile çünkü işin içinde sadece bir tek parçacık vardır – doğrusu, böylesi süreçler *salınım* olarak bilinir. Doğrusu, salınımlar yalnızca çok özel koşullarda gerçekleşebilir. Örneğin bir proton bir nötrona salınmaz; elektrik yükleri farklıdır. İki parçacık ancak aynı elektrik yüküne, aynı kuark sayısına ve aynı kütleye sahipse salınabilir, çünkü bir salınım enerji yaratmamalı, yok etmemelidir. Bir kuarkın karşı-kuarktan farklı olduğuna dikkat edin, yani nötronlar da karşı-nötronlarla salınmaz. Temelde, neredeyse aynı parçacık olmalıdırlar, ama tam olarak değil.

---

fermiyonlar açıkça iki tip olur: yeğin kuvvetten etkilenip protonlar ve nötronlar gibi kompozit parçacıklar olarak bağlanan altı farklı türden "kuark" ve yeğin kuvvetten etkilenmeyip serbestçe ortalıkta uçan altı farklı türden "lepton." Bu altışarlı iki grup da her biri üçer parçacıktan oluşan yığınlara bölünür; elektrik yükü +2/3 olan üç kuark (yukarı, tılsımlı ve üst kuark), elektrik yükü –1/3 olan üç kuark (aşağı, acayip ve alt kuark), elektrik yükü –1 olan üç lepton (elektron, müon ve tau) ve sıfır yüklü üç lepton (elektron nötrino, müon nötrino ve tau nötrino). Karışıklığı daha da artırmak için, her kuark ve leptona karşılık gelen ters elektrik yüklü birer karşı-parçacık vardır; –2/3 yüklü bir karşı-yukarı kuark vb tüm bunlar bizim nötronun bozunumu konusunda daha kesin konuşmamızı sağlar: bu fiilen bir proton (iki yukarı kuark ve bir aşağı kuark), bir elektron ve bir elektron karşı-nötrino yaratır. Bir karşı-nötrino olması önemlidir, böylece net lepton sayısı değişmez; elektron bir lepton sayılır, ama karşı-nötrino eksi bir lepton sayılır, böylece birbirlerini götürürler. Fizikçiler net lepton sayısının ya da net kuark sayısının değiştiği bir süreci hiç gözlememişlerdir, ama böylesi süreçlerin var olması gerektiğinden kuşkulanmaktadırlar. Ne de olsa, gerçek dünyada karşı-kuarktan çok daha fazla kuark vardır. (Net lepton sayısını çok iyi bilmiyoruz, çünkü evrendeki çoğu nötrinoyu belirlemek çok zordur ve oralarda çok fazla karşı-nötrino olabilir.)



Şekil 38: Bir yüksüz kaon ve yüksüz karşı-kaon. Her ikisi de sıfır elektrik yüküne sahip olduğu ve net kuark sayısı da sıfır olduğu için, kaon ve karşı-kaon, farklı parçacıklar olmalarına karşın, birbirlerine salınabilirler.

Doğa *yüksüz kaon* şeklinde bize böylesi salınımlar için kusursuz adayı sağlamıştır. Kaon bir tür mezondur, yani bir kuark bir de karşı-kuarktan oluşur. İki kuark tipinin farklı olmasını ve toplam yükün de sıfıra eşit olmasını istersek, yapılması en kolay böylesi parçacık bir aşağı kuark ve bir karşı acayip-kuarktan ya da tersinden oluşur.[17] Genel eğilime göre, aşağı/karşı-acayip eşleşmesine "yüksüz kaon," acayip/karşı-aşağı eşleşmesine de "yüksüz karşı-kaon" denir. Kesinlikle aynı kütleye sahiptirler, bir proton ya da nötronun yarısı kadar. Kaonlar ile karşı-kaonlar arasında salınım aramak doğaldır ve gerçekten de bu deneysel parçacık fiziğinde sanayi gibi bir şey olmuştur. (Aynı zamanda, yukarı kuarklar ile acayip kuarkların eşleşmesinden oluşan elektrik yüklü kaonlar da vardır, ama bizim amacımız açısından bunlar yararsızdır; basitlik olsun diye *yüksüz* lafını atmış olsak da hep yüksüz kaonlardan söz ediyor olacağız.)

O zaman, kaonlardan ve karşı-kaonlardan oluşan bir yığın oluştursunuz ve birbirleri arasında ileri-geri salınırlarken

[17] "En kolay," "kütlesi en düşük" anlamına gelir, çünkü yüksek kütleli parçacıkları yapmak daha fazla enerji ister ve bunları yaptığınızda da daha hızlı bozunmaya eğilimli olurlar. En hafif kuark türleri yukarı (yükü +2/3) ve aşağı (yükü −1/3) olanlardır, ama bir yukarıyı bir karşı-aşağıyla eşleştirmek yüksüz bir parçacık vermez, bu yüzden daha ağır kütleli kuarklara bakmamız gerekir. Daha ağır kütleli olan yükü −1/3 olan acayip kuarktır, bu yüzden bir aşağıyla eşleşip bir kaon oluşturabilir.

olanların kaydını tutarsınız. Zaman tersinmesi değişmezliği çiğneniyorsa, bir sürecin diğerine göre biraz daha uzun sürmesini bekleriz; sonuçta elimizde karşı-kaonlara göre biraz daha fazla kaon olur ya da tam tersi. Ne yazık ki, parçacıklar üzerlerinde hangi türden olduklarını belirten minik etiketlerle gelmiyor. Ama eninde sonunda tamamen başka parçacıklara bozunuyorlar – kaon bozunarak eksi yüklü bir pion, bir karşı-elektron ve bir nötrino oluşturuyor, karşı-kaon ise bir artı yüklü pion, bir elektron ve bir karşı-nötrino oluşturuyor. Bir tür bozunumun diğerine göre hangi sıklıkla gerçekleştiğini ölçerseniz, özgün parçacığın kaon olarak mı karşı-kaon olarak mı daha fazla zaman geçirdiğini anlayabilirsiniz.

Her ne kadar kuramsal öngörüler bir süredir gerçekleşmiş olsa da, bu deney fiilen ancak 1998'de, İsviçre'nin Cenevre kentindeki CERN laboratuvarındaki CPLEAR deneyi sırasında gerçekleştirilebildi.[18] Parçacık demetlerinin, kaonlar ve karşı-kaonlar arasında ileri-geri salındıktan sonra, bir karşı-kaon gibi olana göre bir kaon gibi olanın biraz daha sık (yaklaşık yüzde 1'in 2/3'ü kadar) bozunduğunu gördüler; salınan demet kaon olarak karşı-kaona göre biraz daha fazla zaman geçiriyordu. Diğer bir deyişle, kaondan karşı-kaona geçiş karşı-kaondan kaona geçişten oluşan zaman tersinmiş sürece göre biraz daha uzun sürüyordu. Zaman tersinmesi gerçek dünyada temel parçacık fiziğinin bir simetrisi *değildi*.

En azından, yukarıda tanımladığım "naif" zaman tersinmesi değildi. Temel parçacıklar dünyasında bir tür zaman tersinmesi değişmezliğini koruyacak bazı ek dönüşümler eklemek mümkün müdür? Gerçekten de mümkündür ve bu da konuşmaya değer.

DOĞANIN YANSIMALARI

Parçacık fiziğinin işleyişinin derinliklerini biraz daha eşelerseniz, bir fiziksel özelliği "tersyüz etmeyi" içeren üç tür olası simetri olduğu ortaya çıkar, bunların her biri bir büyük harfle gösterilmiştir. Zaman tersinmesi T var, geçmiş ile geleceğin yerini değiştirir.

[18] Angelopoulos vd (1998). İlişkili bir deney, Chicago dışındaki Fermilab'de KTeV işbirliğiyle, yüksüz kaonlarla ama biraz farklı bir yoldan zaman tersinmesi çiğnenmesinin ölçülmesiyle gerçekleştirildi (Alavi-Harati vd 2000).

Aynı zamanda parite *P* var, sağ ile solun yerini değiştirir. Pariteyi dama tahtası dünyalarımız bağlamında ele almıştık, ama bu gerçek dünyadaki üç boyutlu uzayda da bir o kadar önemlidir. Nihayet, "yük eşleniği" *C* var, bu parçacıkları karşı-parçacıklarıyla değiştirmenin süslü adı. *C*, *P* ve *T* dönüşümlerinin hepsinin, iki kez üst üste tekrarladığınızda başladığınız duruma döndüğünüz özellikleri var.

İlkesel olarak, bu dönüşümlerden ayrı ayrı her birinin altında değişmez olan bir fizik yasaları kümesi tasavvur edebiliriz. Gerçekten de çok dikkatli (örneğin kaonların bozunumlarını inceleyerek) araştırmadığınızda gerçek dünya yüzeysel olarak öyle görünür. Bir karşı-proton ile karşı-elektronu birleştirip bir karşı-hidrojen yaparsak, sıradan bir hidrojen atomuyla neredeyse tamamen aynı özelliklere sahip olur – sıradan bir hidrojen atomuna değmesi durumunda, birbirlerini ışınım şeklinde yok edecek olmalarının dışında. Bu yüzden, ilk bakışta, *C* iyi bir simetriymiş gibi görünür, tıpkı *P* ve *T* gibi.

Bu yüzden 1950'lerde büyük ölçüde üç Çin asıllı Amerikalı fizikçinin –Tsung-Dao Lee, Chen Ning Yang ve Chien-Shiung Wu– çabalarıyla bu dönüşümlerden birinin –parite– doğanın bir simetrisi olmadığının gösterilmesi bir sürpriz oldu. Paritenin ihlali fikri, bir süredir ortalıkta dolaşıyordu, çeşitli kişilerce önerilmiş ama hiçbir zaman ciddiye alınmamıştı. Fizikte, övgü sıra dışı bir öneride bulunana değil, bu öneriyi üzerinde çalışacak kadar ciddiye alıp bunu saygıdeğer bir kurama ya da belirleyici bir deneye dönüştüren kişiye gider. Parite ihlali konusunda, oturup sorunun dikkatli bir çözümlemesini yapanlar Lee ve Yang oldu. Elektromanyetizma ve yeğin çekirdek kuvvetinin *P* altında değişmez olduğu yolunda yeterli deneysel kanıt olduğunu, ama zayıf çekirdek kuvveti söz konusu olduğunda sorunun açık olduğunu fark ettiler.

Lee ve Yang aynı zamanda zayıf etkileşmelerde parite ihlalinin tespiti için birtakım yollar önerdiler. Sonunda Lee'nin Columbia'da Üniversiteden arkadaşı, zayıf etkileşmelerde uzmanlaşmış bir deneyci olan Wu'yu bunun uğraşmaya değer bir proje olduğuna ikna ettiler. O da kobalt-60 atomları üzerine çok düşük sıcaklıklarda manyetik alanlarda bir deneyde kendisine katılmak üzere Ulusal Standartlar Bürosundan fizikçileri yanına aldı.

Deneyi tasarlarlarken, Wu deneyin temel önemine ikna oldu. Daha sonraki bir metinde, bilimde belirleyici bir anda bulunuyor olmanın heyecanının nasıl bir şey olduğunu canlılıkla açıklamıştı:

> Profesör Lee'nin ziyaretinin ardından, durumu düşünmeye başladım. Bu bir beta-bozunum fizikçisinin can alıcı bir konuda deney gerçekleştirebilmesi için altın fırsattı, nasıl boş verebilirdim ki? O bahar, kocam, Chia-Liu Yuan ve ben Cenevre'de bir konferansa katıldıktan sonra Uzak Doğu'ya devam etmeye karar vermiştik. Her ikimiz de Çin'i 1936'da tam yirmi yıl önce terk etmiştik. Queen Elizabeth'te biletlerimiz alınmıştı ki, aniden, Fizik Topluluğu deneyin önemini fark edip benden önce gerçekleştirmeden, derhal deneyi gerçekleştirmem gerektiğini idrak ettim. Bu yüzden Chia-Liu'dan beni bırakıp tek başına gitmesini istedim.
>
> Mayısın ikinci yarısında bahar sömestri biter bitmez hemen deneyin hazırlıklarına başladım. Eylül ortalarında nihayet Washington D.C.'ye, Dr. Ambler'le ilk toplantıma gittim. Washington'daki deneyler arasında, öğretmenlik ve diğer araştırma etkinlikleri için Columbia'ya koşturmam gerekiyordu. Noel arifesinde, son trenle New York'a döndüm; yoğun kar nedeniyle havaalanı kapalıydı. Orada, Profesör Lee'ye gözlemlenen asimetrinin yinelenebilir ve çok büyük olduğunu söyledim. Asimetri parametresi neredeyse –1'di. Profesör Lee bunun çok iyi olduğunu söyledi. Sonuç iki bileşenli bir nötrino kuramından beklendiği gibiydi.[19]

Eşiniz ve çocukluğunuzun geçtiği eve bir ziyaret bekleyebilir – bilim sizi çağırıyor! Lee ve Yang 1957'de Nobel Fizik Ödülünü aldılar; Wu'nun da kazananlara dahil edilmesi gerekiyordu, ama olmadı.

Zayıf etkileşmelerin pariteyi ihlal ettiği kesinleşince, insanlar çok geçmeden bir parite dönüşümünü parçacıkların karşı-parçacıklarla yer değiştirdiği yük eşleniği C ile birleştirdiklerinde deneylerin değişmez olduğunu fark ettiler. Üstelik, bu o sıralarda popüler olan kuramsal modellerin öngörüsü gibi duruyordu. Do-

[19] Aktaran, Maglich (1973). Özgün makaleler şunlardır: Lee ve Yang (1956) ve Wu vd (1957). Wu'nun da kuşkulandığı gibi, başka fizikçiler de büyük bir hızla sonucu tekrarlayabildiler; doğrusu, Columbia'daki başka bir grup da hızlı bir doğrulama deneyi gerçekleştirdi, sonuçları da Wu vd'nin makalesinin hemen arkasından yayımlandı (Garwin, Lederman ve Weinrich, 1957).

layısıyla doğada *P*'nin ihlal edildiğine şaşıran insanlar *C* ile *P*'nin birleştirilmesinin güzel bir simetriye yol açtığını görünce teselli buldular.

Ama bu da olmuyordu. 1964'te, James Cronin ve Val Fitch dostumuz yüksüz kaon'u inceleyen bir birlikteliğe önderlik ettiler. Kaon'un pariteyi ihlal eden bir şekilde bozunduğunu buldular, karşı-kaon da pariteyi biraz farklı bir şekilde ihlal ediyordu. Diğer bir deyişle, pariteyi tersine çevirmek ve parçacıkların yerine karşı parçacıkları koymanın bileşik dönüşümü doğanın bir simetrisi *değildi.*[20] Cronin ve Fitch 1980'de Nobel Ödülünü aldılar.

Sonunda, *C*, *P* ve *T* simetrilerinin üçünün de ayrıca ikişer ikişer tüm bileşimlerinin doğada ihlal edildiği görüldü. Bir sonraki adım, üçünün birlikteliğini soruşturmaktı: *CPT*. Diğer bir deyişle doğada gözlemlenen bir süreci alsak, bütün parçacıkları karşı-parçacıklarla yer değiştirsek, sağı sola döndürsek ve zamanda geriye doğru işletsek, fizik yasalarına uyan bir süreç elde eder miyiz? Bu noktada, başka her şey ihlal edilmişken, bu türden bir simetriye kuşkuyla yaklaşmanın sağlıklı bir duruş olacağı sonucuna varıp *CPT*'nin de ihlal edileceğini tahmin edebiliriz.

Yine yanlış! (Hem soruları sorup hem de yanıt vermek iyidir.) Şimdiye kadar gerçekleştirilen deneylerden görüldüğü kadarıyla, *CPT* doğanın kusursuz bir simetrisidir. Dahası da var; fizik yasaları üzerine kimi gayet mantıklı varsayımlar altında, *CPT*'nin doğru bir simetri olduğunu *kanıtlayabilirsiniz*. Sonuç yaratıcı bir şekilde "*CPT* kuramı" olarak bilinir. Kuşkusuz, mantıklı varsayımlar bile yanlış çıkabilir ve ne deneyciler ne de kuramcılar *CPT* ihlali olasılığını incelemekten geri durmamışlardır. Ama bildiğimiz kadarıyla, bu simetri hâlâ geçerlidir.

Daha önce, doğanın uyduğu bir dönüşümü elde etmek için zaman tersinmesi işlemini düzenlemek gerektiğini öne sürmüştüm. Parçacık fiziğinin Standart Modelinin durumunda, gerekli düzenleme zaman tersinmesine yük eşleniğini ve paritenin tersyüz edilmesini eklemekten oluşur. Çoğu fizikçi *C*, *P* ve *T*'nin hepsinin teker teker değişmez olduğu farazi dünyayla yalnızca *CPT* birlik-

[20] Christenson vd (1964). Parçacık fiziğinin Standart Modelinde, *CP* ihlalini açıklayan, Nicola Cabibbo'nun bir fikrini geliştiren Makoto Kobayashi ve Toshihide Maskawa (1973) tarafından geliştirilen yerleşik bir yöntem vardır. Kobayashi ve Maskawa 2008'de Nobel Ödülünü aldılar.

teliğinin değişmez olduğu gerçek dünyayı ayırt etmeyi daha uygun bulur ve dolayısıyla gerçek dünyanın zaman tersinmesi altında değişmez olmadığını söyler. Ama Doğanın bir simetrisi olarak görünmemesi için zaman tersinmesini düzenlemenin bir yolunun bulunduğunu değerlendirmek önemlidir.

BİLGİNİN SAKINILMASI

"Zaman tersinmesinin" yalnızca her durumu zamanda ters sırayla oynatıp bir sistemin evrimini tersine çevirmekten ibaret olmadığını, aynı zamanda her zamandaki durumlara bir tür dönüşüm uygulanmasını da –belki sadece momentumun tersine çevrilmesini ya da dama tahtamızdaki bir sırayı döndürmeyi veya belki parçacıkları karşı parçacıklarla değiş-tokuş etmek gibi daha karmaşık bir iş yapılmasını– gerektirdiğini görmüştük.

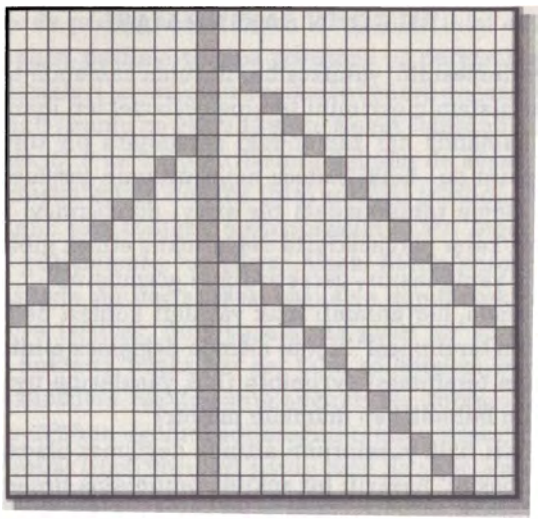
Bu durumda, her anlamlı fizik yasaları kümesi belli bir "karmaşık zaman tersinmesi" biçimi altında değişmez midir? Durumlarda, zaman tersinmesi evriminin fizik yasalarına uyacağı belli bir dönüşüm bulmak hep mümkün müdür?

Hayır. Bazı fizik yasalarının altında değişmez olacağı bir "zaman tersinmesini" başarılı bir şekilde tanımlama becerimiz, başka bir can alıcı önemdeki varsayıma bağlıdır: *bilginin korunması*. Bu basitçe geçmişteki iki farklı durumun her zaman için gelecekte iki açık-seçik belli duruma evrilmesi fikridir – hiçbir zaman aynı duruma evrilmezler. Bu doğruysa, "bilgi korunuyor" deriz, çünkü gelecekteki durumun bilinmesi, geçmişteki ilgili durumun ne olmuş olması gerektiğinin kestirilmesi için yeterlidir. Bu özellik bazı fizik yasaları için geçerliyse, yasalar *tersinirdir* ve o takdirde zaman tersinmesinin değişmezliğine uyulacağı şekilde durumlara uygulayabileceğimiz kimi (olasıdır ki karmaşık) dönüşümler olacaktır.[21]

Bu fikri uygulamada görebilmek için, dama tahtası dünyasına geri dönelim. Şekil 39'da gösterilen dama tahtası D hayli basit gö-

[21] Burada iki varsayımda bulunuyoruz: yasaların zaman-ötelemede değişmez olduğunu (bir andan diğerine değişmediğini) ve belirlenimci olduklarını (gelecek belli bir olasılık dahilinde değil, mutlak kesinlikle belirlenebilir). Bunlardan herhangi birisinin doğru olmadığı anlaşılırsa, belli bir yasalar kümesinin zaman tersinmesinde değişmez olup olmadığının tanımı biraz daha incelik kazanır.

rünür. Gri karelerden oluşan kimi çapraz çizgiler vardır, bir de dikey sütun. Ama burada, önceki örneklerimizde olmayan ilginç bir şey olur: farklı gri kare çizgileri birbirleriyle "etkileşime girmektedir." Özellikle, çapraz çizgilerin dikey sütuna sağdan ya da soldan yaklaştıkları, ama oraya vardıklarında sona erdikleri görülür.



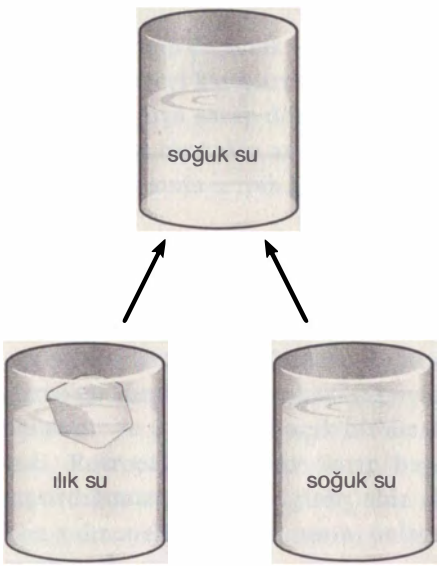
Şekil 39: Tersinmez dinamikleri olan bir dama tahtası. Geçmiş hakkındaki bilgi, geleceğe aktarılmaz.

Bu gayet basit bir kuraldır ve kesinlikle saygıdeğer bir "fizik yasaları" kümesi oluşturur. Ama dama tahtası D ile öncekiler arasında radikal bir farklılık vardır: bu tersinir değildir. Her zamanki gibi, durum uzayı yalnızca herhangi bir sıradaki beyaz ve gri karelerin listesinden oluşur, ek olarak da o karenin sağa doğru çapraz, sola doğru çapraz ya da dikey bir sütunun bir parçası olduğu üzerine bilgi içerir. Elimizde bu bilgiyle, durumu zamanda ileri doğru götürmekte bir zorluk çekmeyiz – bir sonraki sıranın ya da daha sonrakinin ne olacağını kesinlikle biliriz.

Ama bir sıradaki durum verildiğinde, bunu geriye doğru götüremeyiz. Çapraz çizgiler devam edecekler, ama zamanda tersinmiş bakış açısından, dikey sütun çapraz çizgileri kesinlikle rastgele aralıklarla doğuracaktır (bu, şekilde gösterilen bakış açısından, bir çaprazın dikey gri sütuna çarpması ve soğurulmasına karşılık

gelir). Bir fiziksel sürecin tersinmez olduğunu söylerken anlatmak istediğimiz, hazırdaki durum üzerine bilgimizden hareketle geçmişi oluşturamayacağımızdır ve bu dama tahtası bunun kusursuz bir örneğidir.

Böylesi bir durumda, bilgi kaybolmuştur. Bir zamandaki durumu bilerek, önceki durumların ne olduğu konusunda tamamen emin olamayız. Bir durum uzayımız vardır – beyaz ve gri karelerden oluşan bir sıranın, gri karelerde bunların yukarı sağa mı, yukarı sola mı yoksa dikey mi hareket ettikleri bilgisiyle belirtilmesi. Bu durum uzayı zaman içinde değişmez; her sıra aynı durum uzayının bir üyesidir ve her sırada her türlü duruma izin vardır. Ama dama tahtası D'deki alışılmadık özellik, iki farklı sıranın gelecekteki aynı sıraya evrilebilecek olmasıdır. Bir kez gelecekteki sıraya eriştiğimizde, hangi kurulumdan oraya eriştiğimizin bilgisi kurtarılamayacak bir şekilde kaybolmuştur; evrim tersinmezdir.



Şekil 40: Bir bardak sudaki bilginin görünürdeki kaybı. Gelecekteki bir bardak soğuk su, aynı soğuk su durumundan da gelmiş olabilir, içinde buz olan bir ılık su durumundan da.

Gerçek yaşamda, görünür bilgi kaybı hep olur. Bir bardak suyun iki durumunu düşünün. Bir durumda, su aynı soğuklukta tekbiçimlidir; diğerinde, ılık suyumuz vardır, ama aynı zamanda bir

küp de buzdur. Bu iki durum gelecekte aynı durum gibi görünen duruma evrilir: bir bardak soğuk su.

Bu olguyla evvelce de karşılaşmıştık: bu zaman okudur. Buz ılık suyun içinde erirken entropi yükselir; bu olabilecek, ama hiçbir zaman geri dönemeyecek bir süreçtir. Burada şaşırtıcı olan, suyu oluşturan moleküllerin tek tek zaman tersinmesi altında kusursuz bir şekilde değişmez olması, ama buz ve su terimleriyle makroskobik betimlemenin olmamasıdır. Altta yatan tersinir yasaların nasıl olup da makroskobik tersinmezliğe yol açtığını anlamak için, Boltzmann'a ve onun entropi üzerine fikirlerine dönmemiz gerekir.

8
ENTROPİ VE DÜZENSİZLİK

Hiç kimse fiziksel terimlerle zamanın sırasını tersine çevirme eylemini tasavvur edemez. Zaman tersinir değildir.

—Vladimir Nabokov, *Look at the Harlequins!*

Neden entropi ve Termodinamiğin İkinci Yasası üzerine tartışmaların sonunda sık sık gıdalarla ilgili örnekler verilir? İşte size entropinin tersinmez artışı üzerine kimi popüler (ve lezzetli) örnekler:

Yumurta kırıp çırpmak.
Süt ile kahveyi karıştırmak.
Yeni bir halıya şarap dökmek.
Yeni pişmiş bir kekin aromasının odaya yayılması.
Bir bardak suda eriyen buz küpleri.

Doğrusunu söylemek gerekirse bunların hepsi aynı düzeyde iştah açıcı değildir. Dahası, çırpılmış yumurta öyküsünde bir itirafta bulunmam gerekir. Doğrusu şu ki, tavanızda yumurtaları pişirme eylemi İkinci Yasanın doğrudan bir gösterisi değildir; pişirme işi ısının işin içine katılmasıyla gerçekleşen bir kimyasal tepkimedir ve yumurtalar açık bir sistem olmasalardı gerçekleşmezdi. Entropi yumurtaları kırıp beyazlarla sarılarını birlikte karıştırdığımızda devreye girer; elde edilen karışımı pişirmenin amacı salmonella zehirlenmesini önlemektir, termodinamiği göstermek değil.

Entropi ile gıda arasındaki ilişki büyük ölçüde *karıştırmanın* her yerde görülmesinden kaynaklanır. Mutfakta, sıklıkla ayrı tutulan iki şeyin bir araya getirilmesiyle ilgileniriz – ya aynı maddenin iki farklı biçiminin (buz ve sıvı su) ya da iki tamamen farklı

maddenin (süt ve kahve, yumurtanın sarısı ile beyazı). On dokuzuncu yüzyıldaki ilk termodinamikçiler ısının dinamiğiyle aşırı ilgileniyorlardı ve bir küp buzun erimesi onlar için en önde gelen konulardan biriydi; bütün içeriğin aynı sıcaklıkta olduğu, halının üzerine şarap dökmek gibi süreçlerle o kadar da ilgilenmiyorlardı. Ama olup bitenler arasında açıkça altta yatan bir benzerlik söz konusuydu; malzemenin ayrı tutulduğu bir başlangıç safhası, bunların bir araya geldiği bir sonuç safhasına evriliyordu. Şeyleri birleştirmek kolay, ayırmak zordur, zamanın oku mutfakta yaptığımız her şeyin üzerinde dolaşır.

Neden karıştırmak kolaydır da ayırmak zordur? İki sıvıyı karıştırdığımızda, onların birbirlerine dolanıp kademeli bir şekilde tekbiçimli bir sıvı şeklinde karıştıklarını görürüz. Bu süreç kendi başına nelerin olup bittiği konusunda pek bir ipucu vermez. Bu yüzden, iki farklı türden renkli kumu karıştırdığımızı gözümüzde canlandıralım. Kum konusundaki önemli şey, açıkça ayrık ünitelerden, tek tek zerrelerden oluşuyor olmalarıdır. Diyelim kırmızı kum ile mavi kumu karıştırdığımızda, karışım bir bütün olarak mor gözükmeye başlar. Ama tek tek zerreler mora dönüşmüş değildir; mavi zerreler ile kırmızı zerreler birbirlerine karışmışlarsa da kimliklerini korurlar. Yalnızca uzaktan ("makroskobik" olarak) baktığımızda karışımın mor olduğunu düşünmenin bir anlamı vardır; kuma yakından ("mikroskobik" olarak) baktığımızda, tek tek mavi ve kırmızı zerreleri görürüz.

Kinetik kuramın öncülerinin –İsviçre'de Daniel Bernoulli, Almanya'da Rudolf Clausius, Büyük Britanya'da James Clerk Maxwell ve William Thomson, Avusturya'da Ludwig Boltzmann ve Birleşik Devletler'de Josiah Willard Gibbs– sezgileri, bütün sıvı ve gazları bizim kumu düşündüğümüz gibi anlamalarıydı: kalıcı kimlikleri olan çok küçük parçaların bileşimi. Şüphesiz ki, sıvılar ile gazların zerreler yerine atomlar ve moleküllerden oluştuğunu düşünürüz. Süt ve kahve karıştığında, bireysel süt molekülleri yeni bir molekül oluşturmak üzere bireysel kahve molekülleriyle birleşmezler; iki molekül kümesi sadece karışırlar. Isı bile kendi başına bir tür akışkan değil, atomlar ile moleküllerin bir özelliğidir – bir nesnenin içerdiği ısı içinde hızla hareket eden moleküllerin enerjisinin bir ölçümüdür. Bir buz küpü bir bardak suyun içinde eridiğinde, moleküller aynı kalır, ama kademeli bir şekilde

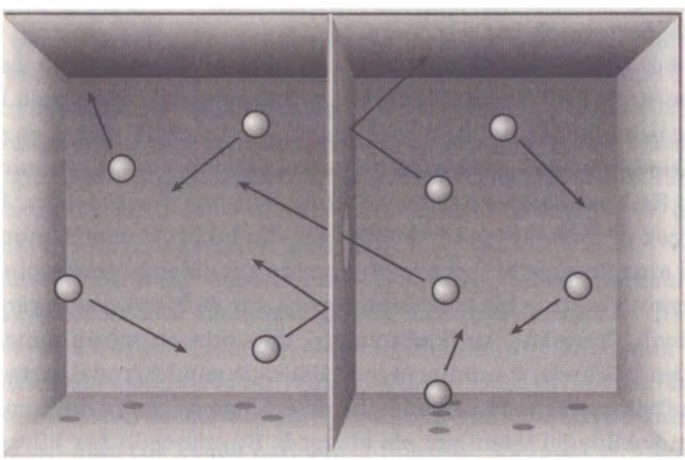
birbirlerine çarpıp enerjilerini düzgün bir şekilde bardaktaki moleküllere dağıtırlar.

Entropinin matematiksel tanımı üzerine (henüz) kesin olmadan, iki tür renkli kumun karışması neden şeyleri karıştırmanın ayırmaktan daha kolay olduğunu gösterir. Bir kâse kum tahayyül edin, bütün mavi zerreler kâsenin bir yanında, kırmızı zerreler öteki yanında. Bu düzenin bir şekilde *narin* olduğu hayli açıktır – sarsarak ya da bir kaşıkla karıştırarak kâseyi rahatsız edersek, iki renk birbirlerine karışmaya başlarlar. Diğer yandan, iki rengin tamamen karışık olduğu durumla başlarsak, böyle bir düzen *sağlamdır* – karışımı rahatsız edersek, karışık olmayı sürdürür. Nedeni basittir: birbirlerine karışmış iki tür kumu birbirlerinden ayırmak, basitçe sarsmak ya da karıştırmaktan çok daha kesin bir işlem gerektirir. Dikkatlice bir cımbız ve bir de büyüteçle yaklaşıp, bütün kırmızı zerreleri kâsenin bir yanına, mavilerin hepsini de diğer yana götürmemiz gerekir. Narin karışmamış kum durumunu yaratmak, sağlam karışmış durumu yaratmaktan çok daha fazla özen gerektirir.

Bu, müthiş bir biçimde nicel ve bilimsel olabilecek bir bakış açısıdır ve 1870'lerde Boltzmann ve başkalarının yaptığı da tam olarak budur. Yaptıklarını ayrıntılarına kadar didikleyecek ve neyi açıkladığını, neyi açıklamadığını, altta yatan kusursuz tersinirlikteki fizik yasalarıyla nasıl uzlaştırılabileceğini araştıracağız. Ama gerçek dünyadaki makroskobik nesnelerdeki *çok sayıda* atomun can alıcı önemde bir rol oynadığının da şimdiden biliniyor olması gerekir. Elimizde bir mavi kum zerresi, bir de kırmızı kum zerresi olsaydı, "karışmış" ve "karışmamış" arasında bir ayrım olmazdı. Geçen bölümde, (tanımlar uygun biçimde yapıldığında) altta yatan fizik yasalarının zamanda hem ileri hem de geriye doğru nasıl aynı şekilde iyi işlediğini ele almıştık. Bu, sistemin her bileşeninin tek tek dikkatlice izlenebileceği mikroskobik bir betimlemedir. Ama sık sık çok sayıda atomun işin içine girdiği gerçek yaşamda bu kadar bilginin kaydını tutmanın yanına bile yaklaşamayız. Bunun yerine basitleştirmeler yaparız – her atomun kendine özgü konumu ve momentumu yerine, ortalama renk, sıcaklık ya da basıncı düşünürüz. Mikroskobik olarak düşünürsek, her parçacık üzerine ayrıntılı bilgiyi unutur (ya da yok sayarız) – ve entropi ile tersinmezlik de burada işin içine girmeye başlar.

YUMUŞATMAK

Anlamak istediğimiz temel fikir şudur: "birçok atomdan oluşan bir sistemin makroskobik özellikleri, nasıl tek tek atomların hareketinin bir sonucu olarak evrilirler?" ("atom," "molekül" ve "parçacık" sözcüklerini az çok birbirlerinin yerine kullanacağım, çünkü tek bilmemiz gereken bunların tersinir fizik yasalarına uyan çok küçük şeyler oldukları ve makroskobik bir şey elde etmek için bunlardan çok fazla sayıda gerek duyacağınız.) Bu anlamda, üzerinde bir delik olan bir duvarla ikiye ayrılmış kapalı bir kutu düşünün. Gaz molekülleri kutunun bir yanında sekip duruyorlar ve normalde ortadaki duvardan da sekiyorlar, ama ara sıra diğer tarafa da geçiyorlar. Örneğin moleküllerin 1000 seferden 995'inde ortadaki duvardan sektiğini ama her seferinde (diyelim ki her saniye) yüzde birin yarısı kadarının deliği bulup diğer tarafa geçtiğini tasavvur edebiliriz.

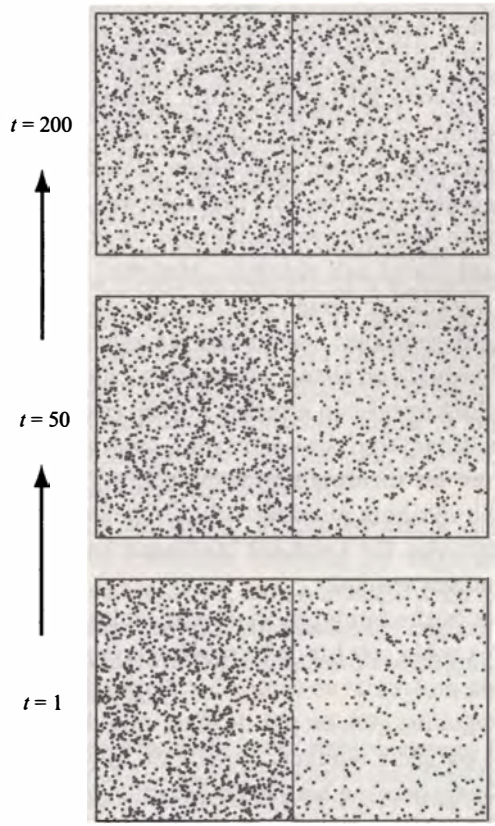


Şekil 41: Bir kutu gaz molekülü, ortada delik bir bölme var. Her saniye, her molekül çok küçük bir olasılıkla delikten geçip diğer tarafa geçme şansına sahip.

Bu örnek hoş bir biçimde özgül; belli bir anı ayrıntılarıyla inceleyebilir ve ne olduğunu görebiliriz.[1] Her saniye sol taraftaki

[1] Neredeyse aynı örneği Wheeler da (1994) ele alır ve bunu Paul Ehrenfest'e atfeder. Wheeler'ın "Ehrenfest'in kabı" dediği şeyde, her adımda her parçacı-

her molekülün yüzde 99,5 o tarafta kalma olasılığı ve yüzde 0,5 diğer tarafa geçme olasılığı vardır; aynı şey kutunun sağ tarafı için de geçerlidir. Bu kural kusursuz bir şekilde zaman tersinmesinde değişmezdir; eğer yalnızca tek bir parçacığın hareketlerinin bir filmini yaparsanız, bunun zamanda ileri mi yoksa geri mi oynatıldığını ayırt edemezsiniz. Bireysel parçacıklar düzeyinde, geçmişi gelecekten ayırt edemeyiz.



Şekil 42: Bölünmüş bir gaz kutusundaki 2000 molekülün evrimi. Solda 1600, sağda 400 molekülle başladık. 50 saniye sonra, solda yaklaşık 1400, sağda da 600 molekül vardı; 200 saniye geçtiğinde, moleküller iki taraf arasında eşit dağılmıştı.

ğın küçük bir taraf değiştirme şansı olacağına, tam olarak bir parçacık taraf değiştirir.

Şekil 42'de böylesi bir kutunun olası evrimini gösterdik; zaman hep olduğu gibi yukarı doğru hareket ediyor. Kutuda 2000 "hava molekülü" var ve t = 1 zamanında sol tarafta 1600 molekül, sağ tarafta da yalnızca 400 molekülle başlıyor. (Neden böyle oluyor diye sormamanız gerekiyor – ama daha sonra, "kutu" yerine "evren" koyduğumuzda, böylesi sorular sormaya başlayacağız.) Orada oturup moleküllerin kutunun içinde sekmelerine izin verdiğimizde olacaklar şaşırtıcı olmaz. Her saniye, herhangi bir molekülün taraf değiştirmesi için küçük bir olasılık var; ama bir yanda çok daha fazla sayıda molekülle başladığımız için, sayının eşitlenmesi yolunda bir eğilim vardır. (Clausius'un İkinci Yasayı formülasyonunda sıcaklık için olanın aynısı.) Solda daha fazla molekül olduğunda, soldan sağa geçen molekül sayısı normalde sağdan sola geçenlere göre daha fazla olacaktır. Böylece 50 saniye sonra sayıların eşitlenmeye başladığını ve 200 saniye sonra da dağılımın esas olarak eşit olduğunu görürüz.

Bu kutu açıkça bir zaman oku sergiler. Şekildeki farklı dağılımları karşılık geldikleri zamanlarla işaretlememiş olsaydık bile insanlar çoğunlukla en alttaki kurunun en başta, en üsttekinin de en sonda geldiğini tahmin etmekte güçlük çekmezdi. Hava moleküllerinin eşitlendiklerinde şaşırmadık, ama aniden hepsi (ya da çoğu) kurunun bir tarafına toplansalardı, çok şaşırırdık. Geçmiş şeylerin daha ayrılmış oldukları yöndür, gelecekse düzleştikleri, yumuşadıkları yön. Bir kaşık süt bir fincan kahvede yayıldığında olan da tamamen aynısıdır.

Kuşkusuz, bütün bunlar mutlak değil, yalnızca istatistikseldir. Yani sağda ve solda eşit bir dağılımla başlayıp şans eseri bir yanda çok sayıda molekülle ve eşitsiz bir dağılımla da bitirebilirdik. Görecek olduğumuz gibi, bu pek de olası değildir ve elimizde daha fazla sayıda parçacık oldukça, olasılık da düşer; ama bu yine de akılda tutulması gereken bir şeydir. Şimdilik, bu çok ender olayları unutup sistemin en olası evrimine odaklanalım.

BOLTZMANN TARZI ENTROPİ

Sadece "Evet, moleküller eşit bir şekilde dağılana kadar ortalıkta dolaşırlar" demenin ötesinde bir şeyler yapmak isteriz. Neden bu beklentiye sahip olduğumuzu açıklayabilmek, "eşit dağılmış"

ve "yüksek olasılıkla" sözlerini daha sağlam nicel ifadelere dönüştürmek isteriz. Bu istatistiksel mekaniğin konusudur. Peter Venkman'ın ölümsüz sözleriyle: "Geri çekil be adam, ben bir bilim insanıyım."

Boltzmann'ın ilk büyük sezgisi, moleküllerin kutunun içinde (aşağı-yukarı) eşit dağılmaları için, hepsinin bir yana yığılmaları için olandan çok daha fazla yol olduğu yolundaki basit değerlendirmeydi. Her molekülü 1'den 2000'e numaralandırdığımızı düşünün. Bir tarafta belli sayıda, diğer tarafta belli sayıda molekül olması için kaç ayrı şekilde ayarlama yapabileceğimizi bilmek istiyoruz. Örneğin kaç şekilde, bir tarafta 2000, diğer tarafta sıfır molekül olmasını sağlayabiliriz? Yalnızca bir şekilde. Moleküllerin sağda mı yoksa solda mı olduğunun kaydını tutuyor, özgül konumları ya da momentumlarıyla ilgilenmiyoruz, böylece sadece moleküllerin hepsini kutunun soluna yerleştiriyoruz.

Şimdi, solda 1999, sağda da tam olarak 1 molekül olması için kaç olasılık olduğunu soralım. Yanıt şudur: 2000 olasılık – sağ tarafta yer alacak her şanslı molekül için bir olasılık. Sağ tarafta iki molekül olması için kaç olasılık oluğunu sorarsak, 1.999.000 olasılık olduğunu buluruz. Cesaretlenip sağda 3 molekül, solda 1997 olmasının olasılıklarını düşünürsek, bunun olması için 1.331.334.000 olasılık olduğunu buluruz.[2]

Bu sayıların hızla büyüdüğü açıkça görülmüş olmalı: 2000, 1'den hayli büyüktür; 1.999.000, 2000'den bir hayli büyüktür ve 1.331.334.000 daha da büyüktür. Sonunda, sağa daha çok molekül aktarıp solu boşalttıkça, sayılar yine azalmaya başlar; ne de olsa, sağda 2000, solda da sıfır molekül olmasının olasılığını sorarsak, yine tek bir olasılığa döneriz.

---

[2] Sağda iki molekülümüz olduğunda, birinci 2000'den herhangi biri, ikinci de kalan 1999'dan herhangi biri olabilir. Bu yüzden bunun olabileceği 1999 x 2000 farklı olasılık olduğunu tahmin edebilirsiniz. Ama bu biraz fazla saymak olur, çünkü sağdaki moleküller şüphesiz ki belli bir sırada olmazlar. ("molekül 723 ile 1198 sağda" demekle, "molekül 1198 ile 723 sağda" demek tamamen aynı şeydir.) Bu yüzden doğru sonucu bulmak için ikiye böleriz: sağda 2, solda 1998 molekül bulunması için 1.999.000 olasılık vardır. Sağda 3 molekül olduğunda, 1998 x 1999 x 2000'i alır, 3 x 2 dizilim sayısına böleriz. Yöntemi görüyorsunuz; 4 parçacık için 1997 x 1998 x 1999 x 2000 alıp, 4 x 3 x 2'ye böleriz, böylece sürer gider. Bu sayıların bir adı var –"binom katsayısı (iki-terimli katsayısı)"– ve belli sayıda nesneyi, daha büyük sayıda bir kümeden kaç şekilde seçebileceğimizi gösterirler.

En yüksek olası bileşim sayısına sahip durum, şaşırtıcı olmayacağı gibi, işlerin tamamen dengede olduğu durumdur: solda 1000 molekül, sağda 1000 molekül. Bu durumda elimizde – eh, gerçekten yüksek sayıda olasılık vardır. Sayının tamamını yazmayacağız, ama yaklaşık 2×10^{600} olasılık vardır. 2, arkasından da 600 adet sıfır. Ve bu da yalnızca toplam 2000 parçacıkla. Gerçek bir oda dolusu hava, hatta bir bardak suda bulabileceğimiz atomların olası bileşim sayısını tasavvur edin. (Elinizde tutabileceğiniz nesneler tipik olarak 6×10^{23} molekül içerir – Avogadro Sayısı.) Evrenin yaşı yalnızca 4×10^{17} saniyedir, bu yüzden olası tüm bileşimlerde molekülleri oradan oraya hareket ettirebilmek için ne kadar hızlı hareket etmeniz gerektiğini gelin siz hesaplayın.

Bu çok açıktır. Bütün moleküllerin kutunun aynı tarafında toplanması için çok az yol varken, aşağı-yukarı eşit dağılmalarının çok fazla yolu vardır – ve çok düzensiz bir dağılımın kolayca hayli düzenli olana doğru evrilmesini bekleriz, tersini değil. Ama bu ifadeler çok da aynı değildir. Boltzmann'ın bir sonraki adımı, aksi yönde bir bilgimiz yoksa, sistemlerin "özel" düzenlerden "genel" düzenlere doğru –yani altta yatan parçacıkların az sayıdaki bileşimlerinin bulunduğu durumlardan, daha çok sayıda bileşimlerinin bulunduğu durumlara doğru– evrilmesini önermek oldu.

Boltzmann'ın böyle düşünmekteki amacı, atom kuramında Termodinamiğin İkinci Yasası, kapalı bir sistemde, entropinin her zaman artacağı (ya da sabit kalacağı) ifadesi için bir temel sağlamaktı. İkinci Yasa Clausius ve başkaları tarafından formüle edilmişti bile ama Boltzmann bunu altta yatan basit ilkeler kümesinden türetmek istiyordu. Bu istatistiksel düşüncelerin bizi nasıl doğru yola yönelttiğini görebilirsiniz – "sistemler sıra dışı bileşimlerden sıradan bileşimlere doğru evrilmeye eğilimlidir" sözü, "sistemler düşük entropili dizilimlerden yüksek entropili olanlara evrilmeye eğilimlidir" sözüyle akrabalık taşır.

Bu yüzden, "entropiyi" "bir sistemin mikroskobik bileşenlerini, onu makroskobik olarak değiştirmeden yeniden düzenleyebileceğimiz olasılıkların sayısı" olarak tanımlayabiliriz. Bölünmüş kutu örneğimizde, bu her iki taraftaki toplam sayıyı değiştirmeden kutudaki molekülleri yeniden düzenleme olasılığımıza karşılık gelir.

Olmuş gibi, ama tamamıyla değil. Termodinamiğin öncüleri aslında entropi üzerine "yükselmeye eğilimlidir"den fazlasını bili-

yorlardı. Örneğin iki farklı sistem alıp bunları birbirleriyle temas durumuna getirirseniz, toplam entropinin sadece iki sistemin ayrı ayrı entropilerinin *toplamı* olacağını biliyorlardı. Entropi, parçacık sayısında olduğu (ama örneğin sıcaklıkta olmadığı) gibi, toplanabilirdi. Ama düzenleme olasılıkları kuşkusuz toplanmaz; iki kutu gazı birleştirirseniz, iki kutu arasında molekülleri yeniden düzenleme olasılığınız, her kutunun içindeki olasılıktan muazzam ölçüde daha büyüktür.

Boltzmann mikroskobik yeniden düzenlemeler terimleriyle entropiyi tanımlama bilmecesini çözmeyi başardı. Bir sitemin makroskobik görünümünü değiştirmeden mikroskobik bileşenlerini yeniden düzenleme olasılığımızı temsil etmek üzere *W* harfini kullanırız – Almanca "olasılık" ya da "ihtimal" anlamında *Wahrscheinlichkeit* sözcüğünden. Boltzmann'ın son adımı, *W*'nin *logaritmasını* alıp, sonucun entropiyle orantılı olduğunu iddia etmekti.

Logaritma sözcüğü entelektüel bir sözcükmüş gibi durur, ama bir sayıyı ifade etmek için kaç hane kullanılacağını ifade etmenin bir yoludur. Bir sayı 10'un bir katıysa, logaritması da o kattır.[3] Yani 10'un logaritması 1 olur, 100'ün logaritması 2, 1.000.000'un logaritması 6, vb.

Ek bölümünde, bazı matematiksel hoşlukları daha ayrıntılı bir şekilde ele alıyorum. Ama bu hoşluklar büyük resim için can alıcı önemde değildir; *logaritma* sözcüğünü gördüğünüzde hızla geçerseniz, bir şey kaçırmış olmazsınız, bilmeniz gerekenler sadece şunlardır:

> Sayılar büyüdükçe, logaritmaları da büyür.
> Ama çok hızlı değil. Bir sayının logaritması, sayı büyüdükçe daha yavaş büyür. Bir milyar 1000'den çok daha büyüktür, ama 9 (bir milyarın logaritması) 3'ten (1000'in logaritması) çok daha büyük değildir.

Bu son husus, bu oyunda uğraştığımız muazzam sayılara geldiğimizde kuşkusuz çok yardımcı olur. 2000 parçacığı bir kutunun iki tarafında dağıtma olasılıkları 2×10^{600}'dür ve bu da tasavvur

[3] Logaritmanın "10 tabanlı" olduğunu varsayıyoruz, ama herhangi bir taban kullanılabilir. $8 = 2^3$ sayısının "2 tabanlı logaritması" 3 olur; $2048=2^{11}$ sayısının 2 tabanlı logaritması 11 olur. Büyüleyici ayrıntılar için Ek Bölümüne bakınız.

dışı büyüklükte bir sayıdır. Ama bu sayının logaritması 600, 3 olur ki, bu görece başa çıkılabilir bir sayıdır.

Boltzmann'ın geleneksel olarak *S* ile gösterilen (*E* diyemezsiniz, çünkü o genellikle enerjiyi gösterir) entropi formülü, bunun akıllıca "Boltzmann sabiti" olarak adlandırılan bir *k* sabitiyle, bir sistemin makroskobik olarak fark edilmeden mikroskobik olarak girebileceği düzenlemelerin sayısını gösteren *W*'nin logaritmasının çarpımına eşit olduğunu gösterir.[4] Yani:

$$S = k \log W$$

Bu, kuşkusuz, tüm bilimin en önemli denklemlerinden biridir – on dokuzuncu yüzyılın, on yedinci yüzyılda Newton'ın dinamiği kodlaması ya da yirminci yüzyılda görelilik ve kuantum mekaniği devrimleriyle eşdeğer bir zaferi. Boltzmann'ın Viyana'daki mezarını ziyaret ederseniz, denklemin mezar taşına kazındığını görürsünüz (*bkz.* 2. Bölüm).[5]

Logaritmaları almak işi çözer, ama Boltzmann'ın formülü bizi, "entropi" olarak düşündüğümüz şeyin sahip olması gereken özelliklere götürür – özellikle, iki sistemi birleştirdiğinizde, toplam entropi başlangıçtaki iki entropinin toplamıdır. Hayal kırıklığı uyandıracak basitlikteki denklem atomların mikroskobik dünyası ile bizim gözlemlediğimiz makroskobik dünya arasında nicel bir bağlantı kurur.[6]

---

[4] *k*'nın sayısal değeri, Kelvin başına $3{,}2 \times 10^{-16}$ erg'dir; erg bir enerji ölçüsüdür, Kelvin de şüphesiz ki sıcaklık ölçüsü. (Birçok başvuru metninde bulacağınız değer bu değildir; çünkü biz 10 tabanlı logaritma kullanıyoruz, halbuki formül genellikle doğal logaritma kullanılarak ifade edilir. "Sıcaklık bir maddede bulunan hareket halindeki moleküllerin ortalama enerjisini ölçer," dediğimizde kastettiğimiz şudur: "Serbestlik derecesi başına ortalama enerji, sıcaklık çarpı Boltzmann sabitinin yarısı kadardır."
Fiziğin gerçek tarihi, altta yatan kavramların güzelliğinden çok daha dağınıktır. "$S = k \log W$" fikri Boltzmann'ın aklına gelmiştir, ama onun kullanacağı simgeler bunlar değildi. Denklem, Boltzmann'ın mezar taşına kazınmasını da öneren Max Planck tarafından bu biçime getirilmiştir; şimdi "Boltzmann sabiti" dediğimiz şeyi de ilk Planck ortaya atmıştır. Daha da kötüsü, mezar taşındaki denklem normalde "Boltzmann denklemi" olarak adlandırılan denklem *değildir* – bu Boltzmann tarafından bulunan ve büyük sayıda parçacıkların durum uzayındaki dağılımlarının evrimini düzenleyen başka bir denklemdir.
Bu tanıma anlam vermenin bir koşulu, farklı mikro-durum türlerini saymasını biliyor olmamızdır ki, ne kadarının çeşitli makro-durumlara ait olduğu-

GAZ KUTUSUNUN CANLANMASI

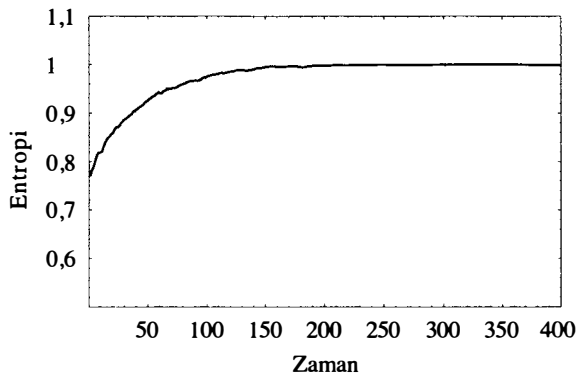
Bir örnek olarak, Şekil 42'de gösterilen, bölmesinde küçük bir delik olan bir gaz kutusunun entropisini hesaplayabiliriz. Makroskobik gözlemleyebildiğimiz, sadece sol ya da sağ taraftaki toplam molekül sayısıdır. (Ne hangi moleküller olduklarını ne de kesin koordinat ya da momentumlarını biliyoruz.) Bu örnekte *W* niceliği, sağdaki ya da soldaki toplam sayıyı değiştirmeden, toplam 2000 parçacığı kaç şekilde dağıtabileceğimizin tam sayısıdır. Solda 2000 parçacık varsa, *W* 1'e eşittir, log *W* de 0 olur. Olasılıklardan bazıları Çizelge 1 içinde sıralanmıştır.

SOL, SAĞ TARAFTAKİ PARÇACIKLAR		*W*	LOG *W*
2000	0	1	0
1999	1	2000	3,3
1998	2	1.999.000	6,3
1997	3	1.331.334.000	9,1
...		...	...
1000	1000	2×10^{600}	600,3
...		...	
3	1997	1.331.334.000	9,1
2	1998	1.999.000	6,3
1	1999	2000	3,3
0	2000	1	0

Çizelge 1: Bazıları sağda bazıları solda 2000 parçacık içeren bölünmüş bir kutuya karşılık gelen bileşim sayısı *W* ve bu sayının logaritması.

nu niceleyebilelim. Mikro-durumlar (parçacıkların bir kutunun bir yarısında ya da diğerindeki dağılımları gibi) ayrı bir küme oluşturduklarında kolaymış gibi gelir, ama durum uzayı (özgül konum ve momentumlara ya da neredeyse tüm olası gerçekçi durumlardaki gerçek moleküllerin durumunda olduğu gibi) devamlı olduğunda zorlaşır. Neyse ki, dinamiğin iki ana çerçevesinde –klasik mekanik ve kuantum mekaniği– durum uzayının kusursuz bir şekilde tanımlanmış "ölçümü" vardır, bu da en azından ilkesel olarak, *W* niceliğini hesaplamamızı sağlar. Bazı belli örneklerde, durum uzayı anlayışımız bulanıklaşabilir, bu durumlarda dikkatli olmamız gerekir.

Şekil 43 içinde, Boltzmann tarafından tanımlanan haliyle entropinin gaz kutumuzda nasıl değiştiğini görüyoruz. Sayıları, kutudaki olası en yüksek entropinin 1 olacağı şekilde ayarladım. Şekil 42'deki, solda 1600 sağda da 400 molekül bulunan kuruluma karşılık gelecek şekilde görece düşük başlıyor. Moleküller kademeli bir şekilde ortadaki bölmede bulunan delikten diğer tarafa geçtikçe, entropi yükselme eğilimi gösteriyor. Bu evrimin belli bir örneği; bizim "fizik yasalarımız" (her parçacığın her saniye taraf değiştirmesi için yüzde 0,5 olasılık vardır) olasılıklar içerdiği için, herhangi bir örneğin ayrıntıları az da olsa farklılık gösterebilir. Ama sistem büyük sayıda mikroskobik bileşimlere karşılık gelen makroskobik kurulumlara doğru ilerleme eğilimi gösterirken, ağırlıklı bir olasılık olarak entropi yükselecektir. Termodinamiğin İkinci Yasası çalışmaktadır.



Şekil 43: Bölünmüş bir gaz kutusunda entropinin evrimi. Gaz moleküllerinin çoğunluğu solda olacak şekilde başlar ve dağılım Şekil 42'de görüldüğü gibi zaman içinde dengelenir. Moleküllerin düzgün dağılması için, çoğunun bir yana yığılmasına göre daha fazla olasılık bulunduğundan, entropi de buna bağlı olarak yükselir. Kolaylık olması açısından entropiyi azami entropi terimleriyle gösterdik, bu yüzden bu çizelgede erişilebilir en yüksek değer 1 oldu.

Yani Boltzmann ve arkadaşlarına göre, zaman okunun kökeni budur. Zaman tersinmesinde değişmez bir mikroskobik fizik yasaları kümesiyle işe başlıyoruz: geçmiş ile gelecek arasında ayrım yapmıyorlar. Ama çok sayıda parçacık içeren sistemlerle çalışıyoruz ve sistemin durumunu tam olarak belirtmek için gerekli bü-

tün ayrıntıların kaydını tutmuyoruz; aksine, kimi gözlemlenebilir makroskobik özelliklerin kaydını tutuyoruz. Entropi makroskobik olarak birbirlerinden ayırt edilemeyecek mikroskobik durumların sayısını gösteriyor (bununla kastımız, "logaritmasıyla orantılıdır"). Sistemin çok sayıda olası duruma karşılık gelen makroskobik kurulumlara doğru evrileceği yolundaki mantıklı varsayım doğrultusunda, entropinin zaman içinde yükselmesi doğaldır. Özellikle, aniden azalması çok şaşırtıcı olur. Sistem (ya da evren) zaman içinde doğal olarak nadir kurulumlardan daha yaygın kurulumlara doğru evrildiği içindir ki zaman oku ortaya çıkar.

Tüm bunlar yüzeysel olarak makul görünür ve temelde doğru oldukları ortaya çıkar. Ancak bu arada daha dikkatli bir incelemeyi gerektiren kimi "akılcı" mantık sıçramaları da yaptık. Bu bölümün geri kalanında Boltzmann'ın entropi üzerine düşünce tarzına dahil olan çeşitli varsayımları gün ışığına çıkartacak ve bunların ne kadar akla yakın olduğuna karar vermeye çalışacağız.

YARARLI VE YARARSIZ ENERJİ

Bu gaz kutusu örneğinin ilginç bir özelliği, zaman okunun yalnızca geçici olmasıdır. Gaz kendisini dengeleme fırsatını bulduktan sonra (Şekil 43'te yaklaşık zaman 150'de), artık neredeyse hiçbir şey olmaz. Tek tek moleküller kutunun sağı ile solu arasında sekmeyi sürdürecekler, ama bunlar eşitlenmeye eğilimli olacak ve sistem de neredeyse tüm zamanını her iki yanda yaklaşık eşit sayıda molekülle geçirecektir. Bunlar tek tek moleküllerin en yüksek bileşim sayısına karşılık gelen kurulumlardır ve buna bağlı olarak, sistemin sahip olabileceği en yüksek entropiye sahiptirler.

Sahip olabileceği en yüksek entropiye sahip olan bir sistem *dengededir*. Bir kez oraya ulaştığında, sistemin temelde gidecek başka bir yeri kalmamış demektir; bu içinde bulunabileceği en doğal kurulumdur. Böylesi bir sistemde zaman oku yoktur çünkü entropi yükselmez (ya da azalmaz). Makroskobik bir gözlemci açısından, dengede bir sistem durağan gözükür, hiç değişmez.

Richard Feynman, *The Character of Physical Law*[*] içinde denge kavramını gösteren bir öykü anlatır.[7] Bir kumsalda oturduğunuzu

---

R. Feynman, *Fizik Yasaları Üzerine*, çev. N. Arık, Alfa Bilim 2015 –çn. Feynman (1964), 119-120.

ve aniden bardaktan boşanırcasına yağan bir yağmura yakalandığınızı tasavvur edin. Yanınızda bir havlu getirmiştiniz, ama siz kapalı bir yere kaçana kadar o da ıslandı. Kapalı bir yere eriştiğinizde, havluyla kurulanmaya başlıyorsunuz. Bir süreliğine işe yarıyor, çünkü havlu sizden biraz daha kuru, ama kısa sürede havlunun sizi kuruttuğu kadar ıslatmasını da sağlayacak ölçüde ıslandığını fark ediyorsunuz. Siz ve havlu, "ıslaklık dengesine" erişmiş bulunuyorsunuz ve artık sizi daha fazla kurulayamaz. Durumunuz, su moleküllerinin sizin üzerinizde ve havluda oluşturacakları bileşimlerin sayısını azamiye çıkartmış bulunuyor.[8]

Bir kez dengeye eriştiğinizde, havlu artık amaçlanan işlevi (sizi kurutmak) için yararlı olmaz. Siz kurulanırken toplam su miktarının değişmediğine dikkat edin; yalnızca sizin üzerinizden havluya aktarılır. Benzer şekilde, dünyanın geri kalanından yalıtılmış bir kutu gazın toplam enerjisi de değişmez; enerji korunur, en azından uzayın genişlemesini ihmal edebileceğimiz koşullarda. Ama enerji daha az ya da çok yararlı yollardan düzenlenebilir. Enerji düşük entropili bir kurulumda düzenlendiğinde, bir aracı hareket ettirmek gibi yararlı bir iş yapmak üzere kullanıma konulabilir. Ama aynı miktarda enerji, bir denge kurulumunda bulunduğunda, tamamen yararsızdır, tıpkı sizinle ıslaklık dengesi durumunda bulunan bir havlu gibi. Entropi bir enerji kurulumunun yararsızlığını ölçer.[9]

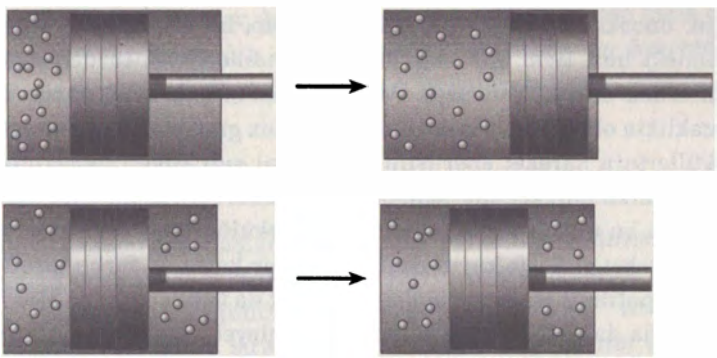
Bir kez daha bölünmüş kutumuzu ele alalım. Ama bölme üzerinde delik olan sabit bir duvar olacağına, bölmenin hareketli ve dışarıya doğru uzanan bir kola bağlı olduğunu tasavvur edin. Uygun koşullarda iş için kullanılabilecek basit bir piston inşa etmiş olduk.

---

[8] Ne düşündüğünüzü biliyorum. "Sizi bilmem, ama ben kurulandığımda, suyun çoğu havluya gidiyor; elli elli." Bu doğru, ama bunun böyle olmasının nedeni güzel, kabarık bir havlunun lif yapısının su için sizin düzgün derinizin sunduğundan çok daha fazla yer sağlaması. Saçınızın aynı etkinlikte kurumamasının ve bir kağıt parçasıyla kendinizi o kadar iyi kurutamamanızın nedeni de bu.

En azından bazı durumlarda, ama her zaman değil. Elimizde, soldaki bütün moleküllerin sarı, sağdaki bütün moleküllerin de yeşil olduğu, ama bunun dışında tamamen eşit oldukları bir kutu gaz bulunduğunu tasavvur edin. Bu düzenlemenin entropisi bir hayli düşük olacaktır ve iki rengin karışmasına izin verirsek, dramatik ölçüde yükselecektir. Ama buradan yararlı bir iş çıkartamayız.

Şekil 44'te pistonumuz için iki farklı durum tarif ettik. Üst sırada bir gazın düşük entropili kurulumunun varlığında –bütün moleküller bölmenin bir tarafında– bir piston gösteriliyor, alt sıra ise yüksek entropili bir kurulum: her iki tarafta da eşit sayıda molekül var. Toplam molekül sayısı ve toplam enerji miktarının her iki durumda da aynı olduğu varsayılıyor; tek fark, entropi. Ama iki durumda olacakların çok farklı olduğu açık. Üst sırada, gazın hepsi pistonun sol tarafında ve buna çarpan moleküllerin kuvveti pistonu, gaz bütün kabı doldurana kadar sağa doğru itecek bir basınç uygular. Hareket eden piston kolu yararlı iş için kullanılabilir – en azından bir süreliğine, bir çarkı döndürmek ya da benzeri bir iş. Bu gazdan enerji alır; sürecin sonunda, gazın daha düşük bir sıcaklığı olacaktır. (Otomobilinizin motorundaki pistonlar da aynen bu şekilde işler, genişleyerek buharlaşmış benzinin yakılmasıyla elde edilen sıcak buharı soğutur ve otomobili hareket ettirecek yararlı işi icra eder.)



Şekil 44: Bölünmüş bir kutudaki, bir pistonu çalıştıran gaz. Üstte, düşük entropi durumundaki gaz, silindiri sağa iter ve yararlı iş yapar. Aşağıda, yüksek entropi durumundaki gaz, silindiri herhangi bir yönde itmez.

Bunun yanında, alt sırada gazda aynı miktar enerjiyle ama çok daha yüksek entropili bir başlangıç haliyle başladığımızı tasavvur ediyoruz – bölmenin her iki yanında da aynı sayıda parçacıkla. Yüksek entropi denge anlamına geliyor, bu da enerjinin yararsız olduğunu, gerçekten de pistonumuzun bir yere gitmediğini görüyoruz. Bölmenin bir tarafındaki gazın basıncı diğer taraftaki

tarafından tamamen götürülüyor. Bu kutunun içindeki gaz yukarı soldaki kutudakiyle aynı toplam enerjiye sahip, ama bu durumda bu enerjiyi pistonu yararlı bir iş yapacak şekilde kullanamıyoruz.

Bu, Boltzmann'ın entropi üzerine görüşü ile İkinci Yasayı ilk formüle eden kişi olan Rudolf Clausius'unki arasındaki ilişkiyi anlamamıza yardımcı oluyor. Clausius ve öncellerinin entropiyi hiçbir şekilde atom terimleriyle düşünmediğini anımsayın; bunu kendi dinamikleri olan özerk bir madde olarak düşünüyorlardı. Clausius'un özgün İkinci Yasa sürümü entropiden söz etmez bile; bu "ısı hiçbir zaman kendiliğinden daha soğuk bir nesneden daha sıcak olana doğru akmaz" diyen basit bir ifadeydi. Farklı sıcaklıklarda iki nesneyi birbirleriyle temas durumuna getirirsek, ikisi de ortak bir orta sıcaklığa doğru evrilirler; aynı sıcaklıkta iki nesneyi birbirleriyle temas durumuna getirirsek, sadece öyle kalırlar. (Termal denge durumundadırlar.)

Atomlar açısından, bu anlamlıdır. Birbirleriyle temas durumunda farklı sıcaklıklardaki iki nesnenin klasik örneğini düşünün: önceki bölümün sonunda ele alınan, bir bardak ılık suyun içindeki buz. Hem buz hem de sıvı tamamen aynı türden moleküllerden oluşur, yani H_2O. Tek fark, buzun çok daha düşük bir sıcaklıkta olmasıdır. Sıcaklık, tartıştığımız gibi, bir maddenin moleküllerinin hareket enerjisini ölçer. Yani sıvı suyun molekülleri görece hızlı hareket ederken, buz molekülleri yavaş hareket eder.

Ama bu tür bir koşul –bir küme molekülün hızlı, diğerinin yavaş hareket etmesi– kavramsal olarak, bir kutunun farklı taraflarına kapatılmış iki küme molekülden çok da farklı değildir. Her iki durumda da şeyleri nasıl yeniden düzenleyeceğimizin kabaca bir sınırı vardır. Elimizde içinde yalnızca belli bir sıcaklıkta su olan bir bardak olsaydı, bardağın bir bölümündeki molekülleri başka bir bölümündekiyle yer değiştirebilirdik ve aradaki farkı ayırt edecek makroskobik bir yol olmazdı. Ama elimizde bir buz küpü varsa, basitçe buzdaki moleküllerle bardağın başka bir yerindeki su moleküllerinin yerini değiştiremezdik – buz küpü hareket ederdi ve gündelik makroskobik perspektifimizden bile bunu kesinlikle fark ederdik. Su moleküllerinin "sıvı" ve "buz" olarak bölünmüş olması, gerçekleştirebileceğimiz düzenlemelerin sayısı üzerinde ciddi bir kısıtlama getirir, yani bu kurulumun entropisi düşüktür. İşe buz olarak başlayan su molekülleri ile bardağın geri kalanı

arasındaki sıcaklık dengelenmeye başladıkça, entropi yükselir. Clausius'un, sıcaklıkların kendiliğinden soğuktan sıcağa doğru akmak yerine, eşitlenmeye eğilimli olmasına dair kuralı, tam da Boltzmann tarafından verilen, entropinin kapalı bir sistemde kesinlikle düşmeyeceği yolundaki tanımla eşdeğerdir.

Bunların hiçbiri, şüphesiz ki şeyleri soğutmanın olanaksız olduğu anlamına gelmez. Ama çevremizdeki şeylerin çoğunlukla benzer sıcaklıkta olduğu gündelik yaşamda, onları ısıtmaktan biraz daha fazla yaratıcılık gerektirir. Bir buzdolabı, bir ocaktan daha karmaşık bir makinedir. (Buzdolapları, Şekil 44'teki, bir gazdan enerji çekip onu soğutmak için genişleten pistonla aynı temel ilkeye göre çalışır.) Chicago'daki Alinea Restoranının şefi Grant Achatz bir tavanın yiyecekleri hızla ısıtıyor olması gibi onları hızla donduran bir cihaz istediğinde, böyle bir şey yaratabilmek için mutfak teknoloğu Philip Preston'la işbirliğine girdi. Sonuç bir "karşı-tava" oldu, mikrodalga fırını boyutlarında, –34 dereceye erişen metalik bir tepesi olan bir cihaz. Karşı-tavaya dökülen sıcak püreler ve soslar, üstleri yumuşak kalırken, dipten hızla donuyor. Termodinamiğin temel ilkelerini anlamamızın üzerinden uzun zaman geçti, ama hâlâ bunları uygulayacak yeni yöntemler icat ediyoruz.

AYRINTILARA KAFAYI TAKMAYIN

Cuma akşamı arkadaşlarınızla bilardo oynamaya çıktınız. Burada gerçek dünyadaki bilardodan söz ediyoruz, sürtünmeyle gürültüyü ihmal edebileceğimiz "fizikçi bilardosunu" değil.[10] Arkadaşlarınızdan biri tam o sırada etkileyici bir vuruş yapmış ve toplar bütün masaya dağılmışlardır. Onlar durup siz de bir sonraki vuruşunuzu düşünürken, bir yabancı gelir ve "Vay be, inanılmaz!" diye haykırır.

[10] Sürtünmeyle gürültünün gerçek dünyada her yerde karşımıza çıkması, kuşkusuz, İkinci Yasa nedeniyledir. İki bilardo topu çarpıştıklarında, her toptaki bütün moleküllerin dış dünyayı hiçbir şekilde rahatsız etmeden sekecekleri kesinlikte tepki vermeleri için çok az sayıda olasılık vardır; çok daha yüksek sayıda olasılıkta bu moleküller etraftaki havayla nazikçe etkileşime geçip çarpışan iki topun sesinin çıkmasına neden olurlar. Gündelik yaşamlarımızdaki her türden yayılım –sürtünme, havanın direnci, gürültü vs– entropinin yükselme eğiliminin tezahürleridir.

Biraz şaşırmış olarak, neyin inanılmaz olduğunu sorarsınız. "Topların masanın üzerinde *tam da şuralarda* nasıl durduğuna bakın! Topları kesinlikle o noktalara göndermenin olasılığı nedir? Bir milyon yıl geçse, bunu tekrarlayamazsınız!"

Esrarengiz yabancı biraz çılgındır – muhtemelen istatistiksel mekaniğin temelleri üzerine çok fazla felsefi yazı okumaktan hafifçe aklını kaybetmiştir. Ama söylediklerinde doğruluk payı da vardır. Masada birçok top varken, herhangi bir dizilim aşırı nadirdir. Şöyle düşünün: ıstaka topunu (beyaz top) rastgele dağılmış toplara vurdurdunuz, toplar ortalıkta dolaştıktan sonra tamı tamına başlangıç konumunda dururlarsa, çok şaşırırsınız. Ama bu belli düzenleme (bütün topların kesinlikle başlangıç konumunda durmaları) topların herhangi başka bir diziliminden daha çok ya da az alışıldık değildir.[11] Bilardo toplarının bazı dizilimlerini "şaşırtıcı" ya da "olmayacak" diye öne çıkartıp, başkalarını "dikkat çekmeyecek" ya da "rastgele" diye nitelendirmeye ne hakkımız var ki?

Bu örnek Boltzmann'ın entropi tanımının ve Termodinamiğin İkinci Yasasının bu doğrultuda anlaşılmasının kalbindeki bir soruya dikkat çeker: bir sistemin özgül iki mikroskobik durumunun bizim makroskobik bakış açımızdan aynı gözüktüğüne kim karar verecek?

Boltzmann'ın formülü, W niceliği fikri etrafında döner, bunu da "Bir sistemin makroskobik görünümünü değiştirmeden mikroskobik bileşenlerini yeniden düzenleme olasılıkları" olarak tanımladık. Son bölümde, fiziksel bir sistemin "durumunu" bu sistemin zamanda eşsiz bir şekilde evrime uğraması için gerekli olan tüm bilginin eksiksiz belirtilmesi olarak tanımladık; klasik mekanikte bu, sistemi oluşturan tüm parçacıkların konum ve momentumları olur. Şimdi istatistiksel mekaniği düşündüğümüze göre, yalnızca gözlemlenebilir özellikleri belirten *makro-durum*un aksine, bir sistemin kesin durumunu gösteren *mikro-durum*

[11] Başka bir şekilde düşünün: bir daha 1-59 arasında beş sayı seçtiğiniz ve rastgele çekilişte tutturmayı umduğunuz şans topu oynadığınızda, "1, 2, 3, 4, 5" sayılarını seçin. Bu sıralamanın çıkması olasılığı, herhangi bir "rastgele görünümlü" sıralamanın çıkmasıyla aynıdır. (Kuşkusuz, kazanırsanız ülke çapında çıngar çıkacaktır, çünkü insanlar birilerinin çekilişte hile yaptığını düşünecek ve siz de şanslı çıkmış olsanız dahi, muhtemelen ödülünüzü alamayacaksınız.)

terimini kullanabiliriz. O zaman *W*'nin kısaltılmış tanımı da "belli bir makro-duruma karşılık gelen mikro-durumların sayısı" olur.

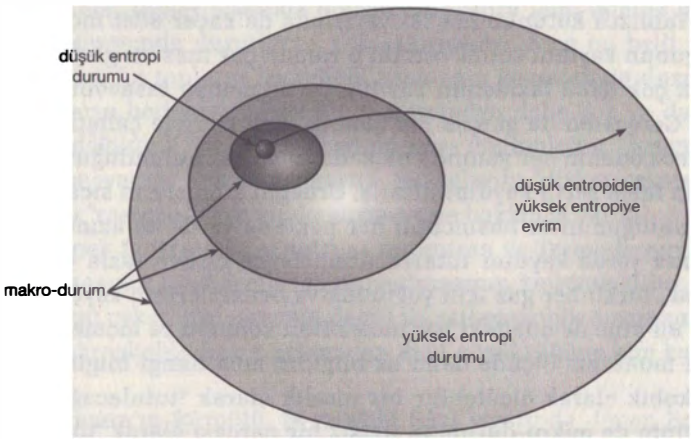
Bir bölmeyle ikiye ayrılmış gaz kutusu için, herhangi bir zamandaki mikro-durum, kutudaki her molekülün konumu ve momentumudur. Ama kaydını tuttuğumuz, sağda ve solda kaçar adet molekül bulunduğudur. Zımnen, moleküllerin belli bir sayı sağda, belli bir sayı solda olmak üzere her bölünümü kutu için bir "makro-durum" tanımlamıştır. *W* hesaplamamız da sadece makro-durum başına mikro-durum sayısını saymak olmuştur.[12]

Yalnızca kutunun her iki yarısında da kaçar adet molekül olduğunun kaydını tutma tercihi o zaman çok masum görünmüştü. Ama çok daha fazlasının kaydını tuttuğumuzu tasavvur edebiliriz. Gerçekten de gerçek bir odanın atmosferiyle çalıştığımızda, sadece odanın her yanında ne kadar molekül bulunduğundan çok daha fazla şeyin kaydını tutarız. Örneğin atmosferin sıcaklığının, yoğunluğunun ve basıncının her noktada ya da en azından belli sayıda yerde kaydını tutarız. Atmosferde birden fazla çeşit gaz varsa, farklı her gaz için yoğunluk ve benzerlerinin kaydını tutarız. Bu yine de odadaki her molekülün konumu ve momentumundan muazzam ölçüde daha az bilgidir, ama hangi bilginin makroskobik olarak ölçülebilir bir nicelik olarak "tutulacağı," hangi bilginin de mikro-durumun ilgisiz bir parçası olarak "unutulabileceği" tercihi pek de iyi tanımlanmış gibi durmaz.

Belli bir fiziksel sistemin (kutuda gaz, bir bardak su, evren) mikro-durum uzayını, "makroskobik olarak ayırt edilemez" olarak adlandırdığımız kümelere bölme süreci *iri tanelendirme* [coarse graining] olarak bilinir. Entropi üzerine düşünme tarzımızda can alıcı önemde bir rol oynayan, biraz da kara büyüyü andıran bir yöntemdir. Şekil 45 içinde iri tanelendirmenin nasıl işlediğini gösterdik; bir sistemin tüm durumlarının uzayını, makroskobik gözlemle ayırt edilemeyecek bölgelere (makro-durumlara) böler.

[12] Doğrusu, her parçacık için sonsuz sayıda olası konum ve sonsuz sayıda olası momentum olduğuna göre, makro-durum başına mikro-durum sayısı da sonsuzdur. Ama kutunun sol tarafındaki bir parçacığın olası konum ve momentumları sağ taraftakilerin olası konum ve momentumlarıyla bire bir karşılıklılık içine sokulabilir; her ikisi de sonsuz olsa da bunlar "aynı sonsuzlardır." Bu yüzden kutunun her iki yanında da parçacık başına eşit sayıda olası durum olduğunu söylemek gayet meşrudur. Aslında yaptığımız, belli bir makro-duruma karşılık gelen "durum uzayının hacmini" saymaktır.

Bu bölgelerden herhangi birinin içindeki her nokta farklı bir mikro-duruma karşılık gelir ve verili belli bir mikro-durumla ilişkili entropi, ait olduğu makro-durumun alanının (ya da aslında hacminin, çünkü bu çok fazla boyutlu bir uzaydır) logaritmasıyla orantılıdır. Durum uzayının çok küçük bir parçasına karşılık gelen bir düşük entropi durumundan başlayan olağan bir sistemin büyük hacimli, yüksek entropi bölgelerinde yer alan durumlara doğru evrilmeye eğilimli olması beklenir.



Şekil 45: İri tanelendirme süreci tüm olası mikro-durum uzayını, makro-durumlar olarak adlandırılan, makroskobik olarak ayırt edilemez kabul edilen bölgelere bölmekten oluşur. Her makro-durumun bununla ilişkili durum uzayında işgal ettiği hacmin logaritmasıyla orantılı bir entropisi vardır. Düşük entropi bölgelerinin boyutları açıklık amacıyla abartılmıştır; gerçekte bunlar yüksek entropi bölgelerine göre fevkalade daha küçüktür.

Şekil 45 orantılı değildir; gerçek bir örnekte, düşük entropili makro-durumlar, yüksek entropili makro-durumlara göre çok daha küçük olacaktır. Bölünmüş kutu örneğinde gördüğümüz gibi, yüksek entropili makro-durumlara karşılık gelen mikro-durumların sayısı, düşük entropili makro-durumlarla ilişkili sayılardan muazzam ölçüde daha fazladır. Düşük entropiyle başlayan bir sitemin, durum uzayının daha ferah yüksek entropi parçalarına doğru dolaşması kuşkusuz şaşırtıcı değildir; ama yüksek entropiyle başlayan tipik bir sistem, bir düşük entropi koşuluyla

tokuşmadan uzun süre dolaşabilir. Denge böyle bir şeydir; mikro-durumlar mutlaka durağan değildir, ama yüksek entropi makro-durumunu hiç bırakmazlar.

Tüm bu iş size biraz garip görünebilir. İki mikro-durum, makroskobik olarak ayırt edilemezseler aynı makro-duruma aittirler. Ama bu da "makroskobik gözlemler temelinde aralarındaki farkı ayırt edemediğimizde" demenin süslü biçimidir. Sinirlerinizi ayağa kaldıracak olan, bu ifadede "biz" sözcüğünün ortaya çıkmasıdır. Neden gözlem gücümüz herhangi bir şekilde işin içine girsin ki? Entropiyi *dünyanın* bir özelliği olarak düşünmek isteriz, *dünyayı algılama gücümüzün* değil. İki bardak su, bütün bardakta aynı sıcaklıktaysalar, su moleküllerinin konum ve momentumlarının kesin dağılımı farklı olsa da aynı makro-durumdadırlar, çünkü tüm bu bilgiyi doğrudan ölçemeyiz. Peki ya bir bardak sıvıya bir bakış atıp her molekülün konum ve momentumunu gözlemleyebilecek, dünya dışı süper gözlemci bir ırkla karşılaşırsak? Böyle bir ırk entropi diye bir şeyin olmadığını mı düşünecek?

Bu soruların birçok farklı yanıtı var ve hiçbiri de istatistiksel mekanik alanında çalışanların tümü tarafından kabul görmüş değil. (Herhangi biri olsaydı, yalnızca o yanıta gerek duyardınız.) Bunlardan ikisine bakalım.

Birinci yanıt, bunun hiçbir öneminin olmadığıdır. Yani önünüzdeki belli bir fiziksel durumun gerekleri nedeniyle mikro-durumları makro-durumların içine nasıl yerleştireceğiniz sizin için çok önemli olabilir, ama nihayetinde, tek istediğimiz İkinci Yasa gibi bir şeyin geçerliliğini savunmaksa, bu önemsizdir. Şekil 45'ten, İkinci Yasanın neden geçerliliğini koruduğu açıkça görülür: yüksek entropili durumlara, düşük entropili olanlara göre çok daha fazla yer vardır, bu yüzden, düşük entropili olanla başladığımızda, diğerine doğru gitmemiz doğaldır. Ama iri tanelendirmeyi nasıl yaparsak yapalım bu doğru olacaktır. İkinci Yasa sağlamdır; entropinin, durum uzayı içindeki bir hacmin logaritması olarak tanımlanmasına bağlıdır, ama bu hacmi tam olarak nasıl seçtiğimize değil. Yine de uygulamada bazı tercihler yapar, bazılarını da yapmayız, bu yüzden konuyu geçiştirme yolundaki bu saydam girişim tam anlamıyla tatminkâr değildir.

İkinci yanıt, bir miktar insani tercih işin içine girse de iri tanelendirmenin nasıl yapılacağı seçiminin *tamamen* keyfi ve top-

lumsal olarak inşa edilmiş olmadığıdır. Doğrusu, kaprislerimiz sonucu değil, bize fiziksel olarak doğal gözüken şekilde iri tanelendirme yaparız. Örneğin bir bardak suyun sıcaklığının ve basıncının kaydını tutarken, aslında yaptığımız, ancak bir mikroskop aracılığıyla ölçebileceğimiz bilgiyi bir kenara bırakmaktır. Uzayın görece küçük bölgelerindeki ortalama özelliklere bakarız, çünkü duyularımızın fiilen yapabildiği de budur. Bir kez bunu yapmayı seçtiğimizde, elimizde hayli iyi tanımlanmış makroskobik olarak gözlemlenebilir nicelikler kümesi kalır.

Uzayın küçük bölgelerinin içinde ortalama almak rastgele başvurduğumuz bir prosedür değildir, farazi bir dünya dışı varlığın duyularının aksine, insani duyularımızın bir özelliği de değildir; fizik yasalarının nasıl işlediğine bakılırsa, bu çok doğal bir şeydir.[13] Kahve fincanlarına bakıp, sütün henüz katılmış olduğu fincanlarla iyice karışmış olanlarını ayırt ederken, şapkamdan kahve durumlarının rastgele bir iri tanelendirmesini çıkartmıyorum; kahve doğrudan ve fenomenolojik olarak bana öyle *gözüküyor*. Yani ilkesel olarak mikro-durumları makro-durumlara nasıl iri tanelendirdiğimiz mutlak şekilde keyfi bir tercih olarak görünse bile uygulamada doğa bize bunu halletmenin gayet akılcı bir yolunu gösterir.

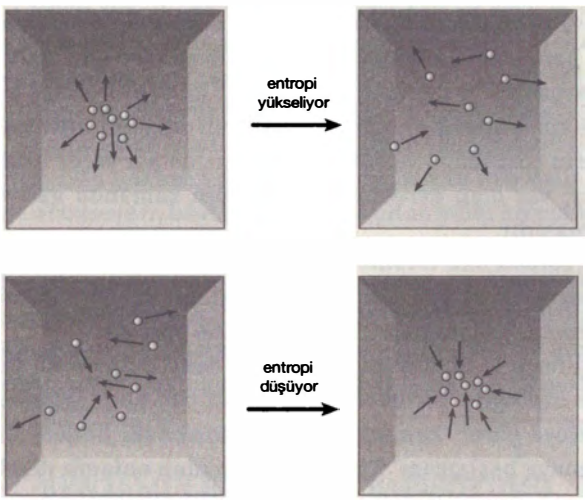
ENTROPİYİ TERSİNE İŞLETMEK

Boltzmann'ın istatistiksel entropi tanımının dikkat çekici bir sonucu, İkinci Yasanın mutlak olmamasıdır – sadece çok yüksek oranda olası görünen davranışları betimler. Orta-entropili bir

[13] Umutsuzca soyutlama tehlikesini de göze alarak, bunu biraz daha açarsak: uzayın küçük bir bölgesinde ortalama almaya bir seçenek olarak, *momentum* uzayında küçük bir bölgede ortalama almayı tasavvur edebiliriz. Yani tam tersini yapacağımıza, belli bir momentum değerine sahip parçacıkların ortalama konumlarından söz edebiliriz. Ama bu çılgıncadır; bu bilgiye makroskobik gözlemlerle ulaşamayız. Çünkü gerçek dünyada, parçacıklar *uzayda yakın* olduklarında karşılıklı etkileşime girmeye (birbirlerine çarpmaya) eğilimlidir, ama birbirlerine uzak iki parçacık aynı momentuma sahiplerse özel bir şey olmaz. Konum olarak birbirlerine yakın iki parçacık, göreli hızları ne olursa olsun etkileşime girebilirler, ama tersi geçerli değildir. (Birbirlerinden birkaç ışık yılı uzak iki parçacık, momentumları ne olursa olsun, fark edilebilecek bir etkileşime girmezler.) Bu yüzden, fizik yasaları akılcı bir iş olarak "uzayın küçük bir bölgesindeki ortalama özellikleri ölçmeyi" seçer.

makro-durumla başlarsak, neredeyse içerdiği tüm mikro-durumlar gelecekte yüksek entropiye doğru evrilecektir, ama az sayıda bazıları da düşük entropiye evrilecektir.

Sarih bir örnek inşa etmek kolaydır. İçindeki gaz moleküllerinin düşük entropili bir kurulumda kutunun ortasında toplanmış olduğu bir kutu gaz düşünün. Evrilmeye bırakırsak, moleküller ortada dolaşacak, birbirleriyle ve kutunun duvarlarıyla çarpışacak ve sonunda (çok yüksek olasılıkla) çok daha yüksek entropili bir kuruluma geleceklerdir.



Şekil 46: Üst sırada, bir kutudaki moleküllerin düşük entropili bir başlangıç durumundan yüksek entropili nihai duruma olağan evrimi. Aşağıda, entropinin düştüğü zamanda tersinmiş bir evrim elde etmek üzere, yukarıdaki nihai durumdaki her parçacığın momentumunu titizlikle tersine çeviriyoruz.

Şimdi yukarıdaki kutunun yüksek entropili duruma gelmesinden belli bir an sonraki belli bir mikro-durumunu düşünün. Oradan, bütün molekülleri kesinlikle aynı konumda tutarak, ama bütün hızları hassasiyetle tersine çevirerek yeni bir durum inşa edin. Elde ettiğimiz durum hâlâ yüksek entropilidir – başladığımız makro-durum içindedir. (Birisi çevrenizdeki her hava molekülünün hareket yönünü aniden değiştirirse, bunu hiç fark etmezsiniz; ortalama her yöne hareket eden aynı sayıda molekül vardır.)

Bu durumda başlayarak moleküllerin hareketi, önceki düşük entropili durumdan başlayarak katettikleri yolun kesinlikle tersidir. Bir dış gözlemci için, entropi aniden düşüyormuş gibi görünür. Bu garip özelliğe sahip yüksek entropili durumların oranı aşırı düşüktür ama kesinlikle mevcuttur.

Hatta, temel yasaların tersinir olduğuna inanıyorsak, böyle olan tüm bir evren tasavvur edebiliriz. Bugünkü evrenimizi alın: bilmediğimiz, ama ait oldukları makro-durumlar üzerine bir şeyler bildiğimiz kimi belli mikro-durumlar tarafından betimlenir. Şimdi, sadece evrendeki her bir parçacığın momentumunu tersine çevirin ve ayrıca zaman tersinmesinin bütünlüğünü korumak için gerekli hangi ilave dönüşümler gerekliyse (örneğin parçacıkları karşı-parçacıklara dönüştürmek) onları da yapın. Sonra kendi haline bırakın. Görecek olduğumuz, evrenin çöktüğü, yıldızlar ile gezegenlerin çözüldüğü ve entropinin genelde her yerde azaldığı bir evrimdir; var olan evrenimizin tarihinin zamanda geriye doğru oynatılmasıdır.

Ama zaman oku tersine çevrilmiş tüm evren üzerine düşünce deneyi, evrenin zaman oku tersine çevrilmiş bir alt sistemi kadar ilginç olmaz. Nedeni basit: Kimse farkına varmaz.

Daha önce 1. Bölüm içinde, zaman daha hızlı ya da yavaş geçerse ne olacağını sormuştuk. Buradaki can alıcı önemdeki soru şudur: Neye göre? "Zamanın aniden dünyadaki herkes için daha hızlı akmaya başlaması" fikri işlevsel açıdan anlamlı değildir; biz zamanı eşzamanlı tekrarlarla ölçeriz ve her türden saatler (buna biyolojik saatler ve atom-altı süreçlerle tanımlanan saatler de dahildir) düzgünce eşzamanlı kaldığı sürece, "zamanın hızının" herhangi bir şekilde farklı olduğunu söylemenin bir yolu yoktur. Yalnızca belli bir saat diğerlerine göre hızlanır ya da yavaşlarsa kavram anlam ifade etmeye başlar.

Tamamen aynı sorun "zamanı tersine işletmek" fikri için de geçerlidir. Kafamızda zamanın geriye işlediğini canlandırdığımızda, evrenin bir yerlerinin, bir bardak soğuk suda aniden bir buz küpünün oluşmaya başlaması gibi tersine işlediğini tasavvur edebiliriz. Ama *hepsi birden* tersine dönerse, tam olarak şimdi gözüktüğü gibi gözükür. Evreni zamanda ileriye doğru işletmekten, ama tersi yönde işleyen sapkınca bir zaman koordinatı seçmekten bir farkı olmaz.

Zaman oku "entropi geleceğe doğru yükselir," olgusunun bir sonucu değildir; "entropi zamanın bir yönünde diğerinde olduğundan çok farklıdır" olgusunun bir sonucudur. Evrenin, bizimle hiçbir şekilde etkileşime geçmeyen ve entropinin şimdi gelecek dediğimiz şeye doğru düştüğü başka bir parçası olsaydı, bu tersine zaman dünyasında yaşayan insanlar olağan dışı hiçbir şey fark etmeyeceklerdi. Olağan bir zaman oku yaşayacaklar ve entropinin (anılarına sahip oldukları) geçmişlerinde düşük olduğunu ve geleceğe doğru yükseldiğini iddia edeceklerdi. Tek fark, "gelecek" dedikleri şeyin bizim "geçmiş" dediğimiz şey ve geçmiş dediklerinin de bizim gelecek dediğimiz olması olacaktır. Evrendeki zaman koordinatının yönü tamamen keyfidir ve eğilimler tarafından belirlenir; dış bir anlamı yoktur. Bizim tercih etmiş olduğumuz eğilim, "zaman"ın entropinin arttığı yönde ilerlemesidir. Önemli olan, entropinin gözlemlenebilir uzayda herkes için aynı zamansal yönde artmasıdır, böylece zaman okunun yönü konusunda anlaşabilirler.

Kuşkusuz, birbirleriyle iletişim kurabilen ve karşılıklı etkileşime girebilen iki kişi (ya da fiziksel evrenin diğer altkümeleri) zaman okunun yönü konusunda anlaşmazlığa düşerse her şey değişir. Benim zaman okumun, sizinkinden farklı bir yöne bakması mümkün müdür?

BENJAMIN BUTTON'IN YAPISÖKÜMÜ

2. Bölümü, edebiyattaki çelişkili bazı zaman oku örnekleriyle açmıştık – zamanı tersine deneyimlermiş gibi duran kimi kişi ya da nesneleri içeren öyküler. *Time's Arrow*'un homongolos anlatıcısı geleceği anımsar, ama geçmişi değil; Beyaz Kraliçe parmağını yaralamadan hemen önce acı hissetmişti; F. Scott Fitzgerald'ın "The Curious Case of Benjamin Button"ın kahramanı da zaman geçtikçe gençleşir ama anıları normal biçimde birikir. Şimdi elimizde bunların gerçek dünyada neden olmadığını açıklayacak araçlar var.

Fiziğin temel yasaları kusursuz biçimde tersinir oldukları sürece, zamanın herhangi bir anında tüm evrenin (ya da herhangi bir kapalı sistemin) tam durumu verildiğinde bu yasaları kullanarak herhangi bir gelecek zamanda durumun ne olacağını ya da geç-

mişte ne olduğunu belirleyebiliriz. Genellikle bu zamanı "başlangıç" zamanı olarak alırız, ama ilkesel olarak herhangi bir zamanı seçebiliriz; ve elimizdeki bağlamda, farklı yönlere bakan zaman okları konusunda kaygılanıyorsak, her şey için başlangıç olacak bir zaman yoktur. Bu yüzden, sormak istediğimiz soru şudur: evrende, zamanda evrildikçe, bir kısmında artan entropi, başka bir kısmında da azalan entropi olan bir durumu seçmek neden zor/olanaksızdır?

Başta bu basit gibi görünür. İki kutu gaz molekülü alın. Birini, Şekil 46'nın üst sırasındaki gibi düşük entropili bir durumda hazırlayın; molekülleri serbest bıraktığınızda, entropileri beklendiği gibi yükselecektir. Diğer kutuyu, alt sırada olduğu gibi, düşük entropili bir durumdan henüz evrilmiş ve tüm hızları tersine çevrilmiş yüksek entropili bir durum şeklinde hazırlayın. Bu ikinci kutu entropinin zaman içinde azalacağı şekilde dikkatle hazırlanmıştır. Böylece her iki kutudaki bu başlangıç koşullarından hareketle, entropinin ters yönlerde evrildiğini göreceğiz.

Ama biz daha fazlasını istiyoruz. Zaman okları birbirinin tersine bakan tamamen ayrı iki kutu, çok da ilginç değildir. Biz etkileşimli sistemler istiyoruz – bir sistemin bir şekilde diğeriyle iletişime geçmesini.

Ve bu da her şeyi bozar.[14] Birinin entropisi yükselmeye, diğerininki de azalmaya hazır bu iki kutuyla başladığımızı tasavvur edin. Ama sonra işin içine iki kutuyu birbirlerine bağlayan küçük bir etkileşim katalım: diyelim ki kutular arasında gidip gelen, diğerine geri dönmeden önce kutulardaki moleküllerden birine çarpıp seken birkaç foton. Kuşkusuz Benjamin Button bedeninin dünyanın geri kalanıyla etkileşimi bundan çok daha güçlüdür. (Beyaz Kraliçe ya da Martin Amis'in *Time's Arrow*'un içindeki anlatıcısı.)

Bu fazladan küçük etkileşim etkileşime geçtiği moleküllerin hızlarını biraz değiştirir. (Momentum korunuyor, bu yüzden başka çaresi yok.) Düşük entropiyle başlayan kutu için bu bir sorun oluşturmaz, çünkü entropiyi yükseltmek için herhangi bir ince ayar yapılması gerekmez. Ama diğer kutudaki, entropinin aşağı inmesi için koşulları oluşturma girişimimizi tamamen mahveder.

[14] Benzer bir argüman matematikçi Norbert Wiener tarafından verilmiştir, *Cybernetics* (1961), 34.

Hızdaki minicik bir değişiklik hızla gazda yayılacak, etkilenmiş bir molekül bir diğerine çarpacak, sonra onlar ikisine daha çarpacaklar, vb. Gazın mucizevi bir şekilde entropisini düşürmek üzere işbirliğine girişmesi için tüm hızların hassasiyetle düzenlenmesi gerekiyordu ve işin içine katacağımız herhangi bir etkileşim bu gerekli işbirliğini bozacaktır. Birinci kutudaki entropi çok az daha yükselecek, diğer kutudaki entropiyse yüksek kalacaktır; bu alt-sistem temelde dengede kalacaktır. Etkileşimli evren alt-sistemlerinde uyumsuz zaman okları olamaz.[15]

DÜZENSİZLİK OLARAK ENTROPİ

Sık sık entropinin düzensizliği ölçtüğünü söyleriz. Bu çok özgül bir kavramın bir şekilde gelişigüzel bir dile kısaltılmış çevirisidir – hızlı bir toparlama için kusursuz bir şekilde uygundur, ama ara sıra yanlış çıkmasının da yolları vardır. Şimdi artık entropinin Boltzmann tarafından verilen gerçek tanımını bildiğimize göre, bu formal olmayan fikrin nasıl gerçeğe dönüştüğünü anlayabiliriz.

Soru, "düzenden" ne anladığınızdır. Bu, entropiyle yaptığımız gibi kolaylıkla sağlam hale getirebileceğimiz bir kavram değildir. Zihinlerimizde, "düzeni," bir rastgelelik durumunun aksine, amaçlı bir düzenlemeyle ilişkilendiririz. Bu kuşkusuz entropiden söz etme tarzımızla bir hısımlık benzerliği taşır. Henüz kırılmamış bir yumurta, kırıp pürüzsüz bir tekdüzeliğe getirmek üzere çırptığımız bir yumurtadan daha düzenli görünür.

Entropi doğal olarak düzensizlikle ilişkilendirilir, çünkü sıklıkla düzensiz olmanın düzenli olmaktan çok daha fazla yolu vardır. Entropinin yükselmesinin klasik bir örneği masanızdaki

[15] Bir boşluk var. Hassas bir şekilde entropinin azalacağı başlangıç koşulları için hazırlanmış bir sistemle başlayıp, sonra bunun dış dünyaya etkileşime girmesine izin vereceğimize, şu soruyu sorabiliriz: "Sistem dış dünyayla etkileşime gireceğine göre, onu entropisinin gelecekte düşmesi için şimdi hangi duruma sokmam gerekir?" Bu türden gelecekteki sınır koşulları düşünülemez değildir, ama burada aklımızda olandan biraz farklıdır. Bu durumda, elimizdeki doğal olarak tersine çevrilmiş zaman okuna sahip özerk bir sistem değil, evrenin tüm parçacıkları arasındaki, belli bir alt-sistemin entropisinin düşeceği şekilde bir işbirliğidir. Bu alt-sistem evrendeki olağan bir nesnenin zamanda tersine dönmüş durumu gibi görünmeyecektir; dünyanın geri kalanı, onun düşük entropili bir duruma girmesi için işbirliğine girmiş gibi görünecektir.

kağıtların dağılımıdır. Onları tertipli kümeler halinde dizebilirsiniz –düzgün, düşük entropili– ve zaman içinde masanın üzerine dağılma eğilimi göstereceklerdir; düzensiz, yüksek entropili. Masanız kapalı bir sistem değildir, ama temel fikir doğru yoldadır.

Ama ilişkilendirmeyi çok zorlarsak, pek de tutmaz. Şimdi oturduğunuz odadaki hava moleküllerini düşünün – bütün odaya, yüksek entropili bir kurulumda, eşit bir şekilde dağıldıkları varsayılır. Şimdi bu moleküllerin odanın merkezindeki birkaç santimetre boyunda küçük bir bölgeye toplanıp, Özgürlük Heykelinin şeklini aldığını tasavvur edin. Bu, şaşırtıcı değildir, çok düşük entropili bir durumdur – ve hepimiz de bunun daha düzenli olduğu konusunda hemfikir oluruz. Şimdi de odadaki tüm gazların çok küçük, bir milimetre çapında, şekilsiz bir damla halinde toplandıklarını düşünün. Gazın kapladığı bölge şimdi daha da küçük olduğundan, bu kurulumun entropisi, Özgürlük Heykeli örneğine göre daha düşüktür. (Molekülleri orta boyda bir heykelcik şeklinde toplamanın, çok minik bir damla içinde toplamaktan çok daha fazla yolu vardır.) Ama şekilsiz bir damlanın o ünlü anıtın bir modelinden daha "düzenli" olduğunu, damla gerçekten küçük olsa bile iddia etmek güçtür. Bu yüzden, bu durumda, düzensizlik ile düşük entropi arasındaki ilinti bozulmuş gibidir ve daha dikkatli olmamız gereklidir.

Bu örnek biraz zoraki gibidir, ama entropi ile düzensizlik arasındaki ilişkiyi görmek için bu kadar uğraşmamıza gerek yoktur. Mutfak temelli örneklerimize bağlı kalırsak, yağ ve sirkeyi düşünün. Sirke ile yağı salataya koymak üzere bir araya getirip silkelerseniz, durup karışımı kendi haline bıraktığınızda kendiliklerinden ayrışmaya eğilimli olduklarını fark edersiniz. Bu, Termodinamiğin İkinci Yasasının garip bir ihlali değildir. Sirke çoğunlukla sudan oluşur ve su molekülleri yağ moleküllerine yapışma eğilimindedir ve su ile yağın kimyasal özellikleri nedeniyle, çok özel kurulumlarda yapışırlar. Bu yüzden yağ ve su (ya da sirke) iyice karıştırıldıklarında, su molekülleri yağ moleküllerine özgül düzenlemelerde, görece düşük entropili bir duruma karşılık gelecek şekilde tutunurlar. Halbuki, iki madde büyük ölçüde ayrı olduklarında, tek tek moleküller serbestçe diğer benzer moleküllerin arasında hareket edebilirler. Oda sıcaklığında, yağ ve suyun karışmamış durumda karışmış durumlarına göre daha yüksek bir

entropiye sahip oldukları anlaşılır.[16] Düzen makroskobik düzeyde kendiliğinden ortaya çıkar, ama nihayetinde bu mikroskobik düzeyde bir düzensizlik konusudur.

İşler, gerçekten büyük sistemlerde de incelikli bir durum oluşturur. Bir odadaki gaz yerine, astronomik boyutlarda bir gaz ve toz bulutunu düşünün – diyelim ki yıldızlararası bir bulutsu. Bu hayli düzensiz ve yüksek entropili görünür. Ama bulutsu yeterince büyükse, kendi kütleçekimiyle toplanacak ve sonunda, yıldızlar ve belki de çevrelerinde gezegenler oluşturacaktır. Böylesi bir süreç İkinci Yasaya uyduğu için, entropinin bu süreç zarfında (çöküş sırasında yayılan tüm ışınımların ve benzeri şeylerin dikkatlice kaydını tutarsak) yükseldiğinden emin olabiliriz. Ama yörüngesinde birçok gezegenle bir yıldız, en azından ilk bakışta, dağınık bir gaz bulutundan daha düzenli görünür. Entropi yükselmiştir, ama anlaşılan, düzen de.

Bu durumda suçlu kütleçekimdir. Kütleçekimin gündelik entropi mefhumumuzu nasıl mahvettiği konusunda söyleyecek çok şeyimiz var, ama şimdilik kütleçekimin diğer kuvvetlerle olan etkileşiminin entropiyi yükseltirken –en azından geçici olarak– düzen yaratıyormuş gibi durduğunu söylemek yeterlidir. Bu evrenin nasıl işlediği konusunda çok önemli bir hususta güçlü bir ipucudur; ama maalesef bu ipucunun bize anlattıklarının ne olduğundan henüz emin değiliz.

Şimdilik, entropi ile düzensizlik ilişkisinin kusursuz olmadığını kabul edelim. Bu kötü bir şey değildir – entropiyi formal olmayan şekilde karışık masa üstlerinden söz ederek açıklamakta bir sorun yoktur. Ama entropinin bize gerçekten söylediği, ne kadar mikro-durumun makroskobik olarak ayırt edilemez olduğudur. Bazen bunun düzensizlikle basit bir ilişkisi vardır, bazen de yoktur.

KAYITSIZLIK İLKESİ

Boltzmann'ın İkinci Yasaya yaklaşımında açıklığa kavuşturmamız ya da en azından gün ışığına çıkartmamız gereken başka birkaç

[16] "Oda sıcaklığında" şerhine dikkat edin. Yeterince yüksek sıcaklıklarda, tek tek moleküllerin hızı o kadar yüksektir ki, su yağa tutunmaz ve bu kez tam karıştırılmış bir kurulum en yüksek entropiye sahip olur. (O sıcaklıkta karışım buhar olacaktır.) Darmadağın gerçek dünyada, istatistiksel mekanik karmaşık bir iştir ve profesyonellere bırakılması gerekir.

rahatsız edici sorun daha vardır. Elimizde bu büyük mikro-durumlar kümesi var, onu makro-durumlara böldük ve entropinin makro-durum başına mikro-durum sayısının logaritması olduğunu beyan ettik. Sonra şu zor lokmayı yutmamız istendi: bir makro-durum içindeki her mikro-durumun "eşit düzeyde olası" olduğu önerisini.

Boltzmann'ı izleyerek, entropinin yükselmesinin nedeninin, yalnızca mikro-durumları sayarak, yüksek entropi için düşük entropi durumundan daha fazla olasılık olmasına bağlı olduğunu savunmak istiyoruz. Ama tipik bir sistem, görece az sayıdaki düşük entropili mikro-durumlarda, birçok yüksek entropili olana göre çok daha fazla zaman geçiriyorsa, bunun bir önemi kalmaz. Fiziğin mikroskobik yasalarının, neredeyse tüm yüksek entropili mikro-durumların doğal olarak az sayıdaki düşük entropili duruma doğru evrileceği özelliklere sahip olduğunu tasavvur edin. Bu durumda, daha fazla yüksek entropili durumun varlığı bir şey fark ettirmez; yine de yeteri kadar beklersek sistemi düşük entropili bir durumda bulmayı bekleriz.

Tam olarak bu şekilde davranan garip fizik yasaları tasavvur etmek zor olmaz. Yeniden bilardo toplarını düşünün, ortalıkta kusursuz bilardo topu davranışlarıyla dolanıyorlar, ama tek bir can alıcı önemde istisnayla: toplardan biri masadaki belli bir banda her çarptığında, top bu duvara yapışıp tamamen hareketsiz bir hale geliyor. (Birisinin bantlardan birine tutkal sürdüğü ya da buna benzer, nihayetinde mikroskobik düzeyde tersinir bir davranışa bağlanabilecek herhangi bir şey değil, temel fiziğin tamamen yeni bir yasasını varsayıyoruz.) Bu bilardo toplarının durum uzayının olağan kurallarının varlığında olacağının aynısı olduğuna dikkat edin: Her topun konum ve momentumunu belirlediğimizde, gelecekteki evrimlerini hassasiyetle öngörebiliriz. Ama şu var ki, gelecekteki evrim, ezici bir olasılıkla, tüm topların masanın bir bandına yapışmasıyla sona erecektir. Bu çok düşük entropili bir kurulumdur; buna benzer çok fazla mikro-durum yoktur. Böylesi bir dünyada, entropi bilardo masasının kapalı sisteminde bile kendiliğinden azalacaktır.

Bu uydurma örnekte neler olup bittiği açık olmalı: yeni fizik yasası tersinir değildir. Daha çok önceki bölümdeki, çapraz gri kare çizgilerinin belli bir dikey sütuna gelip sona erdikleri dama

tahtası D'ye benziyor. Bu acayip masadaki bütün topların konum ve momentumlarını bilmek, geleceği öngörmek için yeterlidir, ama geçmişi canlandırmak için yeterli olmaz. Bir top banda yapışıksa, ne zamandır orada olduğunu bilemeyiz.

Gerçek fizik yasaları temel düzeyde tersinir gözükmektedir. Bu, biraz düşünürsek, yüksek entropili durumların tercihen düşük enerjili durumlara doğru evrilmeyeceklerini garantilemek için yeterlidir. Tersinirliğin bilgi korunumuna dayandığını anımsayın: bir zamandaki durumu belirtmek için gerekli bilgi zaman içinde evrilirken saklanır. Bu, şimdiki iki ayrı durumun, gelecekteki verili belli bir zamanda, hep iki ayrı duruma evrileceği anlamına gelir; aynı duruma evrilirlerse, o durumun geçmişini canlandıramayız. Bu yüzden, yüksek entropili durumların hepsinin tercihen düşük entropili durumlara evrilmeleri olanaksızdır, çünkü bunun olabilmesi için yeterli düşük entropili durum yoktur. Bu Fransız matematikçi Joseph Liouville'e atfen *Liouville Kuramı* olarak adlandırılan teknik bir sonuçtur.

Bu neredeyse istediğimiz şeydir, ama tam olarak değil. Ve istediğimiz de (yaşamda sık sık olduğu gibi) gerçekte elde edebileceğimiz bir şey değildir. Diyelim ki elimizde bir sistem var, bunun hangi makro-durumda olduğunu biliyoruz ve sonrasında ne olacağını söylemek istiyoruz. İçinde bir küp buz yüzen bir bardak su olabilir. Liouville Kuramı der ki, bu makro-durumdaki mikro-durumların çoğunluğunun ya entropisi yükselecek ya da sabit kalacaktır, tam da İkinci Yasanın dediği gibi – buz küpü herhalde eriyecektir. Ama sistem, hangisi olduğunu bilmesek de belli bir mikro-durumdadır. Bu mikro-durumun, entropisi her an dramatik şekilde azalacak olan o çok küçük azınlığa dahil olmadığını nereden bilebiliriz? Buzun biraz büyüyüp, suyun da ısınmayacağının garantisini verebilir miyiz?

Yanıt: Veremeyiz. Ele aldığımız buz küpü ve su makro-durumunda, daha da düşük entropili mikro-duruma evrilecek belli bir mikro-durum olmalıdır. İstatistiksel mekanik, termodinamiğin atomlara dayanan sürümü, özünde *olasılıksaldır* (olasılığa dayanır) – ne olacağını kesin olarak bilemeyiz; yalnızca bazı sonuçların ezici olasılıkla gerçekleşeceğini söyleyebiliriz. En azından, savunmayı arzuladığımız budur. Dürüstçe savunabileceğimiz, çoğu orta entropili durumun düşük entropili durumlardan çok yüksek

entropili olanlara evrildiğidir. Ama "bu makro-durum içindeki mikro-durumların çoğu daha yüksek entropiye evrilir" ifadesi ile "bu makro-durum içindeki bir mikro-durum muhtemelen daha yüksek entropiye evrilir" arasındaki ince farkı anlayabilirsiniz. İlk ifade farklı özellikleri olan ("buz küpü erir," ya da "buz küpü büyür") mikro-durumların göreli sayılarını saymaktan ibaretken, ikinci ifade gerçek dünyada bir şeyin gerçekleşmesinin olasılığı üzerine bir iddiadır. Bunlar tam anlamıyla aynı şey değildir. Dünyada Litvanyalıdan çok Çinli vardır; ama bu Vilnius sokaklarında dolaşıyorsanız, bir Çinliye rastlama olasılığınızın Litvanyalıya rastlama olasılığından daha fazla olacağı anlamına gelmez.

Diğer bir deyişle, geleneksel istatistiksel mekanik can alıcı önemde bir varsayımda bulunur: belli bir makro-durumda olduğumuzu bildiğimizin ve bu makro-duruma karşılık gelen mikro-durumlar kümesinin tamamını anladığımızın verili olması durumunda, *tüm böylesi mikro-durumlar aynı oranda olasıdır*. Bu doğrultuda birtakım varsayımlara başvurmadan edemeyiz; yoksa durumları saymaktan olasılıklar atama aşamasına bir sıçrama yapamayız. Eşit olasılık varsayımının elde edilmesi güç kişiler için tavlama stratejisine benzeyen bir adı vardır: "Kayıtsızlık İlkesi." İstatistiksel mekanik daha sahneye bile çıkmadan çok önce, olasılık kuramı bağlamında dostumuz Pierre-Simon Laplace tarafından desteklenmiştir. Kendisi katı bir belirlenimciydi, ama herkes kadar o da olası tüm olgulara erişimimizin olmadığını anlıyordu ve eksik bilgi durumlarında ne söyleyebileceğimizi anlamak istiyordu. Kayıtsızlık İlkesi de yapabileceklerimizin en iyisidir. Tek bildiğimiz bir sistemin belli bir makro-durumda olduğuysa, bu makro-durum içindeki her mikro-durumun aynı düzeyde olası olduğunu varsayarız. (Tek bir güçlü istisnayla, bu bölümün sonunda ele alınacak olan Geçmiş Varsayımı.) bu varsayımın doğru olduğunu *kanıtlayabilsek* güzel olurdu ve insanlar da bunu yapmaya çalıştılar. Örneğin bir sistem mantıklı bir zaman çerçevesinde olası her mikro-durumda (ya da en azından, olası her mikro-duruma yaklaşacak bir mikro-durumlar kümesinde) evrilecek olsa ve bu evrimde nerede olduğunu bilemesek, bütün mikro-durumları eşit ele almakta bir haklılık payı olurdu. Durum uzayının her yerinde dolanan ve bütün olasılıkları (ya da buna yakın bir şeyi) kapsayan bir sistem "ergodik" olarak bilinir. Sorun şu ki, bir sistem ergodik

de olsa (bütün sistemler de değildir), bütün olası durumlara yakın bir evrim göstermesi fiilen sonsuza kadar sürer. Ya da sonsuza kadar olmasa da, feci uzun bir zaman alır. Bir makroskobik sistem için, hepsini evrenin yaşamı zarfında örnekleyemeyeceğimiz kadar çok durum vardır.

Kayıtsızlık İlkesini kullanmamızın gerçek nedeni, yapacak daha iyi bir şey bilmiyor olmamızdır. Bir de kuşkusuz, işliyor gibi durması.

BAŞKA ENTROPİLER, BAŞKA OKLAR

"Entropi" ve "zaman oku" derken neyi kastettiğimiz konusunda hayli kesin konuştuk. Entropi makroskobik olarak ayırt edilemeyecek durumları sayar, zaman oku da entropi tüm gözlemlenebilir evrende tekbiçimli olarak yükseldiği için oluşur. Ama gerçek dünyanın durumu ortada olduğundan, başka insanlar bu sözcükleri biraz farklı şeyleri anlatmak için kullanırlar.

Bizim çalıştığımız entropinin tanımı –Boltzmann'ın mezar taşına kazınmış olan– her bir mikro-duruma belli bir miktar entropi ilişkilendirir. Tanımın can alıcı önemdeki bir parçası, durumun hangi özelliklerinin "makroskobik olarak ölçülebilir" sayılacağına karar vermek, sonrasında da bunları, durum uzayının tümünü bir makro-durumlar kümesi durumunda iri tanelendirmekte kullanmaktır. Bir mikro-durumun entropisini hesaplamak için, makroskobik olarak ayırt edilemeyecek mikro-durumların toplam sayısını bulup logaritmasını alırız.

Ama ilginç bir şeye dikkat edin: zaman içinde evrilen bir durum düşük entropili koşuldan yüksek entropili koşula doğru ilerlerken, ait olduğu makro-durum dışındaki her şeyi unutmayı seçersek, fiilen aklımızda olan durum üzerine giderek daha az bilgi sahibi olmaya başlarız. Diğer bir deyişle, bize bir sistemin belli bir makro-duruma ait olduğu söylenirse, o makro-durum içindeki belli bir mikro-durum olma olasılığı entropi yükseldikçe düşer, çünkü daha fazla olası mikro-durum vardır. Durum üzerine ***bilgimiz*** –hangi mikro-durum olduğunu ne kadar hassasiyetle belirlemiş olduğumuz– entropi yükseldikçe azalır.

Bu başlangıçta entropiyi tanımlamanın biraz farklı bir yolunu akla getirir, Josiah Willard Gibbs'le daha yakından ilişkili

bir yol. (Boltzmann da aslında benzer tanımları incelemişti, ama Boltzmann'ın zaten bir tanımı olduğu için, bu yaklaşımı Gibbs'le ilişkilendirmek bizim için daha uygundur. Entropiyi tek tek durumları karakterize eden bir şey olarak –yani makroskobik olarak benzer görünen diğer durumların sayısı– düşünmek yerine, entropiyi durum üzerine bildiklerimizi karakterize eder şekilde düşünmeyi seçebiliriz. Entropi üzerine Boltzmann tarzı düşüncede, hangi makro-durumun içinde olduğumuz bilgisi bize, entropi arttıkça, mikro-durum üzerine giderek daha az şey anlatır; Gibbs yaklaşımı bu perspektifi tersyüz eder ve entropiyi ne kadar bildiğimize bakarak tanımlar. Durum uzayının iri tanelendirilmesiyle başlamak yerine, bir olasılık dağılımıyla başlarız: olası her mikro-durum için sistemin fiilen o sırada o mikro-durumun içinde bulunmasının yüzde olarak olasılığı. Gibbs o zaman bize, Boltzmann'da olduğu gibi, o olasılık dağılımıyla ilişkili entropiyi hesaplamak için bir formül sağlar.[17] İri tanelendirme işin içine hiç girmez.

Entropi için ne Boltzmann formülü ne de Gibbs formülü "doğru" formüldür. Her ikisi de dünyayı anlamak için tanımlamayı, işlemeyi ve kullanmayı seçebileceğiniz şeylerdir; her ikisinin de hem avantajları hem de dezavantajları vardır. Gibbs formülü, sıklıkla gayet ayağı yere basan bir nedenle uygulamalarda kullanılır: bununla hesap yapmak kolaydır. İri tanelendirme olmadığından, sistem bir makro-durumdan diğerine geçtiğinde entropide sürekliliği olmayan sıçramalar olmaz; denklem çözerken bu önemli bir yarar sağlar.

Ama Gibbs yaklaşımının da iki dikkat çekici dezavantajı vardır. Biri epistemiktir: "Entropi" fikrini sistemin kendisiyle değil, sistem üzerine bilgimizle ilişkilendirir. Bu entropinin gerçekten de ne anlama geldiğini düşünmeye çalışan insanlar arasında her türden anlaşmazlığa neden olmuştur. Savlar ileri geri uçuşmuştur, ama benim bu kitapta benimsediğim, entropiyi bilgimizin bir özelliği değil durumun bir özelliği olarak ele alan yaklaşım sıkıntılı konuların birçoğundan kaçınıyor gibidir.

Diğer dezavantaj daha çarpıcıdır: fizik yasalarını biliyorsanız da bunları Gibbs entropisinin zamanda nasıl evrildiğini incele-

[17] Formül şöyledir: her olası mikro-durum x için, sistemin o mikro-durumda olma olasılığı p_x olsun. O zaman entropi de tüm olası x mikro-durumlarının $-kp_x \log p_x$ niceliğinin genel toplamı olur, burada k Boltzmann sabitidir.

mek için kullanıyorsanız, hiç değişmediğini görürsünüz. Biraz düşünmek bizi bunun doğru olduğuna inandırır. Gibbs entropisi durumun ne olduğunu ne kadar bildiğimizi karakterize eder. Ama tersinir yasaların etkisi altında, bu değişmeyen bir niceliktir: bilgi yaratılmaz ya da yok olmaz. Entropinin yükselmesi için, gelecekteki durum üzerine şimdikinden daha az şey bilmemiz gerekir; ama her zaman, nereden geldiğini görmek için evrimi tersine işletebiliriz, bu yüzden bu olamaz. İkinci Yasa gibi bir şeyi Gibbs'in yaklaşımından türetebilmek için, evrim üzerine bir şeyleri "unutmanız" gerekir. İşe derinlemesine bakarsanız bu, Boltzmann yaklaşımındaki iri tanelendirmenin felsefi karşılığıdır; yaptığımız, "unutma" adımını durum uzayı yerine hareket denklemlerine sokmak oldu.

Yine de Gibbs entropi formülünün bazı uygulamalarda aşırı yararlı olduğunda kuşku yoktur ve insanlar bundan yararlanmayı sürdürecektir. İş burada da bitmiyor; entropiyi düşünmenin birçok başka farklı yolu daha vardır ve literatürde sık sık yenileri önerilmektedir. Bunda yanlış bir şey yoktur; ne de olsa, Boltzmann ve Gibbs de Clausius'un gayet güzel ve "termodinamik" entropi başlığı altında bugün bile kullanılan entropi tanımının yerine geçecek tanımlar öneriyorlardı. Kuantum mekaniği sahneye çıktıktan sonra, John von Neumann özellikle kuantum bağlamına uyarlanmış bir entropi formülü önerdi. Önümüzdeki bölümde ele alacağımız gibi, Claude Shannon ruhu Gibbs'inkine çok benzeyen ama fizik değil bilgi kuramı çerçevesinde bir entropi tanımı önerdi. Önemli olan tek bir doğru entropi tanımı bulmak değildir; ilgili bağlamlarda yararlı işlevleri olacak kavramlar geliştirmektir. Kimsenin sizi bir tanım ya da diğerinin entropinin tek doğru anlamını verdiğini söyleyerek kandırmasına izin vermeyin.

Entropinin birçok tanımı olduğu gibi, başka bir kafa karıştırma konusu olarak, birçok farklı "zaman okları" da mevcuttur. Entropi ve İkinci Yasa tarafından tanımlanmış termodinamik zaman okuyla uğraşıyoruz. Aynı zamanda kozmolojik zaman oku (evren genişliyor), psikolojik zaman oku (geçmişi anımsıyoruz ama geleceği değil), ışınım zaman oku (elektromanyetik dalgalar hareketli yüklerden uzağa doğru akar, onlara doğru değil) vb de vardır. Bu farklı oklar farklı kategorilere girerler. Kozmolojik ok gibi kimileri evrenin evrimi üzerine olguları yansıtırlar ama mükemmelen ter-

sinirdirler. Termodinamik okun nihai açıklamasının kozmolojik oku da açıklaması sonunda doğru çıkabilir (aslında bu hayli olası gözüküyor), ama evrenin genişlemesi fiziğin mikroskobik yasaları açısından entropinin yükselmesinde olduğu gibi bir bilmece oluşturmaz. Bu arada, gerçek tersinmezlikler yansıtan oklar –psikolojik ok, ışınım oku ve hatta daha sonra inceleyeceğimiz, kuantum mekaniği tarafından tanımlanan ok– entropinin evriminin karakterize ettiği, işlerin aynı altta yatan durumunun yansımaları gibidir. Hepsinin nasıl ilişkili olduğunun ayrıntılarını belirlemek kuşkusuz önemli ve ilginçtir, ama "zaman oku" olarak entropinin artışı tarafından tanımlanandan söz etmeyi sürdüreceğim.

İKİNCİ YASAYI KANITLAMAK

Boltzmann entropiyi verili bir makro-duruma ne kadar mikro-durumun sığdığının ölçüsü olarak anladığında, bir sonraki hedefi de Termodinamiğin İkinci Yasasını bu perspektiften türetmek oldu. İkinci Yasanın neden işlediğinin temel nedenlerini söylemiştim – yüksek entropi olmanın düşük entropi olmaya göre daha fazla yolu vardır ve farklı başlangıç durumları farklı nihai durumlara evrilirler, bu yüzden çoğunlukla (gerçekte ezici bir olasılıkla) entropinin yükselmesini bekleriz. Ama Boltzmann iyi bir bilim insanıydı ve daha iyisini yapmak istiyordu; İkinci Yasanın bu formülasyondan geldiğini *kanıtlamak* istiyordu.

Kendimizi bir on dokuzuncu yüzyıl termodinamikçisinin yerine koymak zordur. Bu insanlar kapalı bir sistemde entropinin azalmamasının yalnızca iyi bir fikir olmakla kalmadığını hissediyorlardı; bu bir *Yasaydı*. Entropinin "muhtemelen" yükseleceği fikri, enerjinin "muhtemelen" korunacağı önermesinin olacağından daha makul değildi. Gerçekte, sayılar o kadar dengesizdi ki, istatistiksel mekaniğin olasılıksal mantığı, her türlü amaç ve uygulama açısından mutlak kabul edilebilirdi. Ama Boltzmann bundan daha kesin bir şey kanıtlamak istiyordu.

1872'de, Boltzmann (o sırada yirmi sekiz yaşındaydı) entropinin her zaman yükseleceği ya da sabit kalacağını kanıtlamak amacıyla kinetik kuramı kullanmayı amaçladığı bir makale yayımladı – o zamandan beri sayısız tartışmanın konusu olan ve "*H*-Kuramı" adı verilen bir sonuç. Bugün bile kimileri *H*-Kuramının İkinci Ya-

sanın gerçek yaşamda neden geçerli olduğunu açıkladığını düşünürken, başkaları bunun entelektüel tarihin eğlenceli bir kalıntısı olduğunu düşünüyor. Doğrusu şu ki, bu istatistiksel mekanik için ilginç bir sonuç, ama İkinci Yasayı "kanıtlamakta" kısa düşüyor.

Boltzmann şöyle akıl yürüttü. Gaz dolu bir oda ya da bir fincan sütlü kahve gibi makroskobik bir nesnede, muazzam sayıda molekül vardır – 10^{24}'ün üzerinde. Gazın hayli seyrek olduğu özel durumu ele aldı, böylece iki parçacık birbirlerine çarpabilecekti, ama üç ya da daha fazla parçacığın aynı anda birbirleriyle çarpıştığı o nadir durumları ihmal edebilecektik. (Bu gerçekten karşı çıkılamayacak bir varsayımdır.) Tüm bu parçacıkların makro-durumunu karakterize etmenin bir yolunu bulmalıyız. Bu yüzden, her molekülün konum ve momentumunun kaydını tutmaktansa (ki bu tüm mikro-durum olurdu), belli bir konum ve momentuma sahip parçacıkların ortalama sayısının kaydını tutalım. Belli bir sıcaklıkta dengede bir kutu gaz için, örneğin ortalama parçacık sayısı kutudaki her konum için eşittir ve belli bir momentum dağılımı vardır, öyle ki, parçacık başına ortalama enerji doğru sıcaklığı verir. Bu bilgi verilirse, gazın entropisini hesaplayabilirsiniz. Ve o zaman da dengede olmayan bir gazın entropisinin, bir azami düzeye çıkana kadar zaman içinde yükseleceğini ve orada kalacağını (Boltzmann olsaydınız) kanıtlayabilirdiniz. İkinci Yasa, görüldüğü kadarıyla, türetilmişti.[18]

Ama bu işte açıkça bir gariplik vardı. İşe kusursuz bir biçimde zaman tersinmesinde değişmez fizik yasalarıyla başlamıştık – zamanda ileri olduğu kadar geriye de kusursuz işliyorlardı. Sonra Boltzmann bunlardan göründüğü kadarıyla zaman tersinmesinde değişmez olmayan bir sonuç çıkarttığını öne sürmüştü – entropi-

[18] Boltzmann aslında bir H niceliği hesaplamıştı ki bu da özünde fiili entropi ile azami entropi arasındaki farktı; kuramın adı da bundan kaynaklanıyor. Ama bu ad kurama daha sonradan takıldı ve aslında Boltzmann H harfini bile kullanmamıştı; buna E demişti, ki bu akılları daha da karıştırıyor. Boltzmann'ın özgün H-Kuramı makalesi 1872'deydi; Loschmidt ve başkalarının eleştirilerini de hesaba katan bir geliştirilmiş sürüm de 1877'de yayımlandı. Bu fikirlerin büyüleyici tarihsel gelişiminin hakkını vermenin yanına bile yaklaşamıyoruz; çeşitli farklı bakış açıları için, *bkz.* von Baeyer (1998), Lindley (2001) ve Cercignani (1998); daha teknik bir düzey için, *bkz.* Ufflink (2004) ve Brush (2003) . Özellikle herhangi bir Yale mezunu Gibbs'in katkılarının önemsenmemesinden yakınacaktır; dengeyi sağlamak için, *bkz.* Rukeyser (1942).

nin geleceğe doğru yükseldiğini söyleyerek, açık bir zaman oku gösteren bir sonuç. Tersinir varsayımlardan nasıl oluyor da tersinmez sonuçlar çıkartabiliyorsunuz?

İtiraz 1876'da benzer kaygılar William Thomson (Lord Kelvin) ve James Clerk Maxwell tarafından da ifade edildikten sonra, Josef Loschmidt tarafından güçlü bir şekilde öne sürülmüştü. Loschmidt, Boltzmann'ın yakın dostuydu ve 1860'larda genç fizikçinin Viyana'daki hamisiydi. Atom kuramı konusunda kuşkucu da değildi; aslında, moleküllerin fiziksel boyutlarını doğru bir şekilde tahmin eden ilk bilim insanı da Loschmidt'ti. Ama Boltzmann'ın, bunu varsayımlarının arasına sokmadan zaman asimetrisini nasıl türettiğini anlayamıyordu.

Artık "Loschmidt tersinirlik itirazı" olarak bilinen sav hayli basittir. Düşük entropili bir makro-duruma karşılık gelen özgül bir mikro-durum düşünün. Çok büyük olasılıkla, yüksek entropiye doğru evrilecektir. Ama zaman tersinmesi değişmezliği böylesi her evrim için, yüksek entropi durumda başlayıp düşük entropi durumuna doğru evrilen olası başka bir evrim --özgün evrimin zaman tersinmesi– olduğunu garanti eder. Zaman içinde olabilecek her şeyin uzayında, tamı tamına düşük başlayıp yükselen entropi örneği kadar yüksek başlayıp azalan entropi örneği de vardır. Makro-durumlara bölünmüş durum uzayını gösteren Şekil 45'te, çok düşük entropili bir makro-durumdan çıkan bir hat göstermiştik; ama hatlar birdenbire belirmezler. Bu tarihin bir yerlerden geliyor olması gerekir ve bu bir yerin de yüksek entropisinin bulunması gerekir – açıkça, yolu boyunca entropisi düşen bir güzergâh örneği. Zaman tersinmesinde değişmez dinamiklere inanıyorsanız (hepsi inanıyordu) entropinin hep yükselmesi açıkça olanaksızdır.[19]

---

[19] Loschmidt'in aynı başlangıç koşullarıyla başlayan eşit sayıda yükselen entropi evrimleri ve azalan entropi evrimleri bulunduğunu *söylemediğine* dikkat edin. Zaman tersinmesini düşündüğümüzde, başlangıç koşulları ile sonuç koşullarının yerlerini değiştiririz; Loschmidt'in tek dikkat çektiği, olası tüm başlangıç koşullarını düşündüğümüzde, toplamda eşit sayıda yükselen entropi ve azalan entropi evrimi bulunduğudur. Eğer dikkatimizi düşük entropili başlangıç koşullarıyla kısıtlarsak, başarılı bir şekilde entropinin genellikle arttığını öne sürebiliriz; ama dikkat ederseniz, düşük entropili sonuç koşulları yerine yalnızca *başlangıç* koşullarıyla yola çıkarak zaman asimetrisini araya sıkıştırmış olduk.

Ama Boltzmann ***bir şey*** kanıtlamıştı – görüldüğü kadarıyla, savlarından matematiksel ya da mantıksal hata yoktu. Anlaşılan, açıkça ifade edilmemiş olsa da bir yerlerde işin içine belli bir zaman asimetrisi katmıştı.

Gerçekten de yapmıştı. Boltzmann'ın mantığındaki can alıcı önemdeki bir adım, ***moleküler kaos*** varsayımıydı – Almanca, ***Stosszahlansatz***, sözcük anlamıyla, "çarpışma sayı varsayımı." Bu, gazdaki bireysel moleküllerin hareketlerinde sinsi komploların var olmadığını varsaymak anlamına geliyordu. Ama entropinin düşmesi için gereken tam da sinsi bir komployduı! Böylece Boltzmann etkili bir şekilde entropinin ancak alternatif olasılıkların başlangıçta yok sayılmasıyla artabileceğini kanıtlamıştı. Özellikle, her parçacık çiftinin momentumlarının çarpışmadan *önce* ilintisiz olduğunu varsaymıştı. Ama bu "önce" açıkça zamanda asimetrik bir adımdı; parçacıklar gerçekten bir çarpışma öncesinde ilintisizse, genellikle sonrasında ilintili olacaklardı. Tersinmez bir varsayım işte ispatın arasına böyle sızmıştı.

Bir sistemi düşük entropili durumda başlayıp yüksek entropili duruma evrilmeye bırakırsak (örneğin bir buz küpünü erimeye terk edersek), kuşkusuz her şey söylenip yapıldığında, moleküller arasında çok sayıda ilinti olacaktır. Özellikle, tüm momentumları tersine çevirmemiz durumunda, sistemin düşük entropili başlangıç durumuna geri evrilmesini garantileyecek ilintiler olacaktır. Boltzmann'ın çözümlemesi bu olasılığı hesaba katmamıştı. Entropinin azalacağı o koşulları ihmal etmemiz durumunda, entropinin hiçbir zaman azalmayacağını kanıtlamıştı.

FİZİK YASALARI YETERLİ OLMAYINCA

En nihayetinde, bu tartışmaların çözümünün ne olmasının gerektiği, en azından gözlemlenebilir evrenimizde, tamamen bellidir. Loschmidt, tüm olası evrimler kümesinde, azalan entropilerin artanlar kadar çok olduğu konusunda haklıdır. Ama Boltzmann da haklıdır, istatistiksel mekanik neden düşük entropili koşulların çok yüksek olasılıkla yüksek entropili koşullara evrileceğini açıklar. Sonuç açıktır: fizik yasaları tarafından denetlenen dinamiklere ek olarak, evrenin düşük entropili bir durumda başladığını varsaymamız gerekir. Bu bir ***sınır koşuludur***, bizatihi fizik yasa-

larının bir parçası olmayan, fazladan bir varsayım. (En azından, Büyük Patlama öncesinde neler olduğunu konuşmaya başlayana kadar ki bu da 1870'lerde girişilemeyecek bir tartışmaydı.) Ne yazık ki, bu sonuç o zamanlar insanlar tarafından yeterli görülmedi ve sonraki yıllarda *H*-Kuramının statüsü üzerine tartışmaların mantık ötesine geçtiği görüldü.

1876'da Boltzmann Loschmidt'in tersinirlik itirazına durumu açıklığa kavuşturmayan bir yanıt yazdı. Boltzmann kuşkusuz Loschmidt'in haklı olduğu noktalar bulunduğunu anlıyor ve İkinci Yasada tartışma götürmez biçimde olasılıksal bir şeyler olması gerektiğini kabul ediyordu; kinetik kuramı doğruysa, bu mutlak olamazdı. Makalesinin başında, bunu açıkça belirtti:

> Sistem bu silsileyi tersine geçerken entropi azalacağına göre, entropinin dünyamızdaki bütün fiziksel süreçlerde fiilen yükseldiği olgusunun yalnızca parçacıklar arasında etkin olan kuvvetlerin doğasından türetilemeyeceğini, başlangıç koşullarının bir sonucu olması gerektiğini görüyoruz.

Bundan daha tartışmasız bir ifade isteyemeyiz: "entropinin dünyamızda yükseldiği olgusunun... başlangıç koşullarının bir sonucu olması gerekir." Ama sonra, bir şeyleri başlangıç koşullarına dayanmadan kanıtlama fikrine hâlâ tutunarak, hemen ardından ekler:

> Yine de istatistiksel bir bakış açısını kabul etmeye gönüllüysek, İkinci Yasaya mekanik bir ispat sağlayabilmek için özel bir başlangıç koşulu türü varsaymak durumunda değiliz.

"İstatistiksel bir bakış açısını kabul etmek" herhalde yalnızca entropinin yükselmesinin her zaman gerçekleşmediğini, büyük ölçüde olası olduğunu öne sürebileceğimizi kabul ettiği anlamına gelir. Ama şimdi özel bir başlangıç koşulu türü varsaymak durumunda olmadığımızı söylemekle ne demek istemiş olabilir? Sonraki cümle, endişelerimizi doğrular:

> Herhangi bir (düşük entropiye karşılık gelen) bireysel tekbiçim olmayan durum herhangi bir (yüksek entropiye karşılık gelen) bireysel tekbiçim durumla aynı olasılığa sahipse de tekbiçim olmayanlara göre çok daha fazla tekbiçim durum vardır. Dolayısıyla başlangıç koşulu rastgele seçilirse, sistem neredeyse

kesinlikle tekbiçim bir duruma evrilecek ve entropi neredeyse kesinlikle yükselecektir.

İlk cümle doğrudur, ama ikincisi kesinlikle yanlıştır. Bir başlangıç değeri rastgele seçilirse, "neredeyse kesinlikle tekbiçim bir duruma evrilecek" değildir; doğrusu, neredeyse kesinlikle tekbiçim (yüksek entropili) bir durumda *olacaktır*. Az sayıda düşük entropili durumların neredeyse hepsi yüksek entropili durumlara evrilecektir. Aksine, yüksek entropili durumların yalnızca çok küçük bir yüzdesi düşük entropili durumlara evrilecektir; ama başlangıç için muazzam ölçüde daha fazla yüksek entropili durum vardır. Yüksek entropili duruma evrilen düşük entropili durumların toplam sayısı, Loschmidt'in de öne sürdüğü gibi, düşük entropili duruma evrilen yüksek entropili durumların toplam sayısıyla aynıdır.

Boltzmann'ın makalelerini okuyunca, insan onun herkesten birkaç adım ileride olduğuna dair güçlü bir izlenim edinir – varsayımların artılarıyla eksilerini karşısındakilerin hepsinden daha iyi görmüştür. Ama artılar ile eksilerin arasında dolaştıktan sonra, hep doğru yerde durmamıştır; üstelik, bir makaleden diğerine benimseyeceği çalışma varsayımları konusunda özellikle tutarsızdır. Ama ona biraz hoşgörü göstermemiz gerekir, çünkü şimdi 140 yıl sonrasındayız ve entropi ile İkinci Yasa üzerine konuşmanın en iyi yolu üzerine henüz bir fikir birliğine varmış değiliz.

GEÇMİŞ VARSAYIMI

Gözlemlenebilir evrenimizin içinde, entropinin tutarlı yükselişi ve buna karşılık gelen zaman oku yalnızca altta yatan tersinir fizik yasalarından türetilemez. Zamanın başlangıcında bir sınır koşuluna gerek duyarlar. İkinci Yasanın gerçek dünyamızda neden işlediğini anlamak için, sadece istatistiksel akıl yürütmeyi altta yatan fizik yasalarına uygulamak yeterli olmaz; aynı zamanda gözlemlenebilir evrenin birçok düşük entropi durumunda başladığını da kabul etmemiz gerekir. David Albert bu kabule basit bir ad vererek yardımcı olmuştur: *Geçmiş Varsayımı*.[20]

[20] Albert (2000); aynı zamanda *bkz.* (birçok başkasının yanında) Price (2004). Her ne kadar bir Geçmiş Varsayımına olan ihtiyacı (umuyorum ki) bariz ol-

Geçmiş Varsayımı, Kayıtsızlık İlkesinin yukarıda sözünü ettiğimiz o güçlü istisnasıdır. Kayıtsızlık İlkesi bizim, bir sistemin belli bir makro-durumda olduğunu bildiğimizde, bu makro-durum içindeki tüm olası mikro-durumların eşit olasılığa sahip olacağını varsaymayı tasavvur etmemizi ister. Bu kabul istatistiksel mekaniğe dayanarak geleceği öngörmekte çok büyük bir iş başarır. Ama bunu gerçekten ciddiye alırsak, geçmişi canlandırmakta feci bir iş yapar.

Boltzmann entropinin neden yükseldiği üzerine bize inandırıcı bir öykü anlatmıştı: yüksek entropi olması için düşük entropiye göre daha fazla yol vardır, bu yüzden düşük entropili bir makro-durumdaki mikro-durumların çoğunluğu daha yüksek entropili makro-durumlara doğru evrilecektir. Ama bu sav zamanın yönüne bir göndermede bulunmaz. Bu mantık izlenirse, belli bir makro-durumdaki çoğu mikro-durumun geleceğe doğru entropisi yükselecektir, ama aynı zamanda geçmişteki daha yüksek bir entropiden de evrileceklerdir.

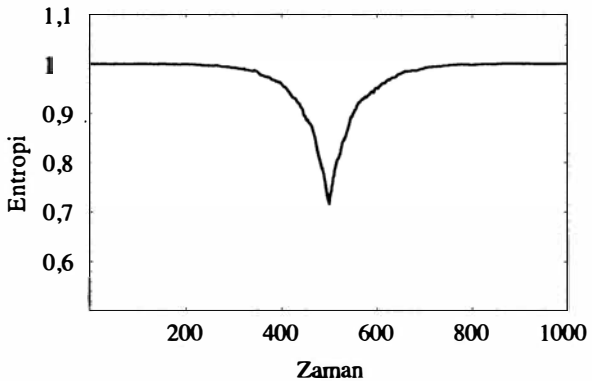
Bir orta-entropili makro-durumdaki tüm mikro-durumları düşünün. Bu durumların çok büyük bir çoğunluğu önceki *yüksek* entropi durumlarından gelmiştir. Öyle olmalıdırlar, çünkü gelmiş olabilecekleri o kadar çok düşük entropili durum yoktur. Bu yüzden, yüksek olasılıkla, tipik bir orta-entropili mikro-durum, daha yüksek entropili bir geçmişten bir "istatistiksel dalgalanma" olarak ortaya çıkmıştır. Bu sav entropinin geleceğe doğru yükselmesi gerektiği savının aynısıdır, yalnızca zaman yönü tersine çevrilmiştir.

Bir örnek olarak, içinde 2000 parçacık olan bölünmüş gaz kutusunu düşünün. Bir düşük entropili koşuldan başlayarak (parçacıkların yüzde sekseni aynı taraftadır), entropi Şekil 43'te görüldüğü gibi yükselme eğilimi gösterir. Ama Şekil 47'de entropinin geleceğe olduğu kadar geçmişe de nasıl evrildiğini gösterdik. Altta yatan dinamik kural ("her parçacığın saniyede yüzde 0,5 diğer tarafa geçme olasılığı vardır") zaman yönleri arasında bir ayrım gözetmediğine göre, entropinin bu anın geleceğinde olduğu kadar geçmişinde de yüksek olması şaşırtıcı olmaz.

---

duğu için öne sürdüysem de statüsü tartışmalı olmaktan uzak değildir. Bir kuşku ifadesi için, *bkz.* Callender (2004) ve Earman (2006).

Bir sistemin dengede başlayıp sonra düşük entropili bir duruma dalış yapmasının çok düşük olasılık olduğunu düşünerek itiraz edebilirsiniz. Bu kuşkusuz doğrudur; dengede ya da buna yakın kalması çok daha olasıdır. Ama düşük entropili bir durumda olmakta ısrarcı olursak, çok yüksek olasılıkla böylesi bir durum entropi eğrisinde bir asgari noktayı gösterir, geçmişte ve gelecekte de yüksek entropi olacaktır.



Şekil 47: Bölünmüş bir gaz kutusunun entropisi. "Sınır" koşulu parçacıkların yüzde sekseninin bir yanda, yüzde yirmisinin de diğer yanda olduğu zaman = 500'e konmuştur (düşük entropili bir makro-durum). Entropi bu anın hem geleceğine hem de geçmişine doğru yükselir.

En azından, gideceğimiz tek yer Kayıtsızlık İlkesiyse bu çok yüksek bir olasılıktır. Sorun şu ki, dünyadaki hiç kimse gerçek evrenin entropisinin Şekil 47'de gösterildiği gibi davrandığını düşünmüyor. Entropinin yarın bugüne göre daha yüksek olacağı konusunda herkes hemfikirdir, ama hiç kimse dün bugüne göre daha yüksek olduğunu düşünmüyor. Gelecek bölümde göreceğimiz gibi, bu fikir birliği için sağlam nedenler var – şu anda entropi eğrisinin en düşük yerinde yaşıyorsak, geçmiş üzerine tüm anılarımız tamamen güvenilmez demektir ve evrene herhangi bir şekilde anlam vermemiz de olanaksızdır.

Bu yüzden, dünyada ne olduğunu umursuyorsak, Kayıtsızlık İlkesini, Geçmiş Varsayımıyla desteklememiz gerekir. Makro-durumumuzdan mikro-durum seçmeye gelince, her birine aynı olasılığı atamayız: yalnızca çok düşük entropili (çok minik bir kesit)

bir geçmişle uyumlu mikro-durumları seçeriz ve aynı olasılığa sahip olanları alırız.[21]

Ama bu strateji önümüze bir soru getirir: Geçmiş Varsayımı neden doğrudur? Boltzmann'ın zamanında, bırakın kuantum mekaniğini ya da kuantum kütleçekim, genel görelilik ya da Büyük Patlama üzerine bile hiçbir şey bilmiyorduk. Ama soru yine ortadadır, yalnızca daha özgül bir durumda: Neden evren Büyük Patlama yakınlarında düşük bir entropiye sahipti?

[21] Biraz istatistiksel mekanik okumuş okuyucular, bunların hiçbirini neden anımsamadıklarını merak edecektir. Yanıt, gelecek üzerine öngörülerde bulunmaya çalıştığımız sürece bunun bir öneminin olmadığıdır. İstatistiksel mekaniği bir sistemin gelecekteki davranışını öngörmek için kullanırsak, Kayıtsızlık İlkesi ve Geçmiş Varsayımına dayanan öngörüler yalnızca Kayıtsızlık İlkesine bakarak elde edilenden farklı olmaz. Herhangi bir *gelecek* sınır koşulu kabulü olmadığı sürece, her şey yolundadır.

9
BİLGİ VE YAŞAM

Buna entropi demelisiniz, iki nedenle. Birincisi belirsizlik fonksiyonunuz istatistiksel mekanikte bu adla kullanılmıştır, yani zaten bir adı vardır. İkincisi ve daha önemlisi, hiç kimse entropinin gerçekte ne olduğunu bilmiyor, bu yüzden, bir tartışmada avantajlı konumda olursunuz.

—John von Neumann, Claude Shannon'a[1]

*Du côté de chez Swann** adlı eserin ünlü bir bölümünde, Marcel Proust'un anlatıcısı üşümekte ve biraz da bunalım yaşamaktadır. Annesi ona çay ikram eder, o da isteksizce de olsa, kabul eder. Sonra da Fransızların geleneksel olarak çayın yanında yedikleri madlen adı verilen kurabiyeleri yerken gayri iradi çocukluk anılarına dalar.

> Sonra ansızın o hatıra karşımda beliriverdi. Bu tat, Combray'de pazar sabahları... Leonie Halamın günaydın demeye odasına gittiğimde çayına ya da ıhlamuruna batırıp bana verdiği bir parça madlenin tadıydı... Halamın ıhlamura batırıp bana verdiği bir parça madlenin tadını tanır tanımaz... Leonie Halamın odasının bulunduğu, sokağa bakan eski gri ev bir tiyatro dekoru gibi gelip annemler için yapılmış olan, arkadaki bahçeye bakan küçük eve... eklendi; evle birlikte, sabahtan akşama, her mevsimde kent, öğle yemeğinden önce beni gönderdikleri Meydan, alışveriş yaptığım sokaklar ve hava güzel olduğunda yürüdüğümüz yollar da görüntüde yerlerini aldılar.[2]

Du côté de chez Swann, À la recherche du temps perdu# adlı eserin yedi cildinin birincisidir. Eserin adı İngilizceye *In Search*

---

[1] Aktaran, Tribus ve McIrvine (1971).

Swann'ların Tarafı, çev. R. Hakmen, YKY (2015).

Proust (2004), 47; R. Hakmen çevirisi (2010), s.51.

Kayıp Zamanın İzinde, çev. R. Hakmen, YKY (2010).

of Lost Time olarak çevrilebilir. Ama eseri ilk çeviren C. K. Scott Moncrieff, Shakespeare'in 30. sonesinden ödünç alarak *Remembrance of Time Past* (*Geçmiş Zamanın Anımsanması*) başlığını kullanmıştır.

Geçmiş, şüphesiz ki, anımsanması doğal bir şeydir. Zaten başka ne anımsayabiliriz ki? Kuşkusuz geleceği değil. Zaman okunun kendini göstermesinin tüm yolları içinde, anı –özellikle de geleceğe değil geçmişe uygulanması– yaşamlarımızdaki en bariz ve en merkezi olanıdır. Bir an üzerine deneyimimiz ile bir sonraki üzerine olan arasındaki belki de en önemli fark, anıların birikmesi ve bizi zamanda ileri götürmesidir.

Şimdiye kadarki duruşum, geçmişin gelecekten farklı olmasını sağlayan tüm önemli unsurların altta yatan tek bir ilkeye, Termodinamiğin İkinci Yasasına bağlanabileceği yönündeydi. Bu, geçmişi anımsayıp geleceği anımsayamamamızın eninde sonunda entropi terimleriyle, özellikle de erken evrenin çok düşük entropili bir durumda olması üzerine Geçmiş Varsayımına başvurarak açıklanabileceği anlamına gelir. Bunun nasıl işlediğinin incelenmesi bizi, entropi, bilgi ve yaşam arasındaki ilişkinin keşfine daldırır.

RESİMLER VE ANILAR

"Hafıza" üzerine konuşmanın sorunlarından biri, insan beyninin fiilen nasıl işlediği konusunda anlamadığımız birçok şey olmasıdır, bilinç olgusuna hiç girmiyorum.[3] Ama şimdiki amaçlarımız açısından bu önemli bir eksiklik değildir. Geçmişi anımsamaktan söz ederken, özgül insani hafıza deneyimiyle değil, genel, dünyanın şimdiki durumundan geçmiş olayları canlandırma mefhumuyla ilgileniyoruz. İyi anlaşılmış mekanik kayıt cihazlarını hatta düpedüz fotoğraflar ya da tarih kitapları gibi kalıntıları düşünmekle bir şey kaybetmeyiz. (İnsanların doğal dünyanın parçası oldukları ve özellikle de zihinlerimizin ilkesel olarak fizik yasalarına uyan beyinlerimizin terimleriyle anlaşılabileceği yönünde zımni bir kabulde bulunuyoruz.)

[3] Ama giderek çok daha fazlasını öğreniyoruz. Nörobilim dalındaki, gerçek beyinlerin anıları nasıl canlandırdıkları ile geleceği tasavvur etmeleri arasındaki benzerliklerin nasıl da şaşırtıcı olduğunu ortaya çıkartan gelişmeler üzerine yakın tarihli bir çalışma için, *bkz.* Schacter, Addis ve Buckner (2007).

Bu nedenle, elinizde geçmişin güvenilir bir kaydı olduğunu düşündüğünüz bir şey bulunduğunu tasavvur edin: örneğin onuncu yaş gününüzde çekilmiş bir fotoğraf. Kendi kendinize şöyle diyebilirsiniz: "Onuncu yaş günümde kırmızı bir gömlek giydiğimi güvenle söyleyebilirim, zira o olayı gösteren bu fotoğrafta kırmızı bir gömlek giydiğim gözüküyor." Fotoğrafın montajlandığı ya da herhangi bir şekilde oynandığı kaygılarını bir kenara bırakın. Soru şudur: Şimdide elimizde bu fotoğrafın varlığından, geçmiş üzerine bir sonuca varma hakkımız doğar mı?

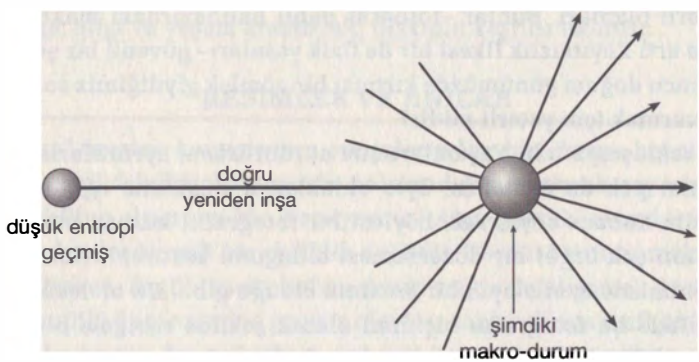
Özellikle, şu Geçmiş Varsayımı işine inanmadığımızı tasavvur edelim. Elimizde tek olan, evrenin halihazırdaki makro-durumu üzerine, bu fotoğrafın varlığı da dahil olmak üzere bilgi ve belli bazı anılarımızın da bulunuyor olması. Halihazırdaki *mikro-durumu* kesinlikle bilmiyoruz –dünyadaki her parçacığın konumu ve momentumunu bilmiyoruz– ama Kayıtsızlık İlkesine başvurup makro-durumla uyumlu her mikro-duruma eşit olasılık atayabiliriz. Ve şüphesiz ki, fizik yasalarını biliyoruz – belki eksiksiz Her Şeyin Kuramını değil, ama gündelik dünyamızı sıkıca kavramaya yeterli olanları. Bunlar –fotoğraf dahil halihazırdaki makro-durum artı Kayıtsızlık İlkesi bir de fizik yasaları– güvenli bir şekilde onuncu doğum günümüzde kırmızı bir gömlek giydiğimiz sonucuna varmak için yeterli midir?

Yaklaşmaz bile. Yaşamlarımızı sürdürürken, ayrıntılarla kendimizi pek de üzmeden, öyle olduklarını düşünme eğilimindeyizdir. Kabaca söylersek, böylesi bir fotoğrafın kurucu moleküllerinin çok özgül bir düzenlemesi olduğunu kestirebiliriz. (Tıpkı beynimizde aynı olayın bir anısının olduğu gibi.) Bu moleküllerin özellikle bu fotoğrafın biçimini alacak şekilde rastgele bir araya geldiklerini değil – bu astronomik düzeyde olanaksızdır. Ama geçmişte fotoğrafta resmedilen imgeye karşılık gelen bir olay gerçekten olduysa ve elinde fotoğraf makinesi olan birisi de bulunmuşsa, o zaman fotoğrafın varlığı görece olası duruma gelir. Bu yüzden doğum günü partisinin fotoğrafta görülen şekilde gerçekleşmiş olduğu sonucuna varmak çok mantıklıdır.

Tüm bu ifadeler mantıklıdır, ama sorun, nihai sonuca varmamız için yeterli olmamalarıdır. Nedeni basit ve geçen bölümün sonundaki gaz kutusu tartışmamızla aynıdır. Evet, fotoğraf çok özgül ve olmayacak bir molekül dizilimi. Ama bunu "açıklamak"

için anlattığımız öykü –geçmişin, doğum günü partilerinin, kameraların ve fotoğrafların da içinde bulunduğu bir ayrıntılı canlandırmanın günümüze kadar bozulmadan kalması– bizatihi fotoğraftan bile daha az muhtemeldir. En azından, "muhtemel" halihazırdaki mikro-durumla tutarlı tüm olası mikro-durumların eşit olasılığa sahip olduğunu kabul edersek – ki kabul ettiğimiz de tam olarak budur.

Şöyle düşünün: günümüzün belli bir yapıtını açıklamak üzere, gelecekte ayrıntılı bir öyküye başvurmayı hiç düşünmezsiniz. Doğum günü fotoğrafımızın geleceğini sorarsak, onu çerçeveletmek ya da çerçeveletmemek için bazı planlarımız olabilir, ama büyük bir belirsizlik payını da kabul etmemiz gerekir – onu kaybedebiliriz, çamura düşüp bozulabilir ya da yangında yanabilir. Bunların hepsi, burada, günümüzde fotoğrafın varlığının sağladığı özgül kerterize karşın, günümüz durumundan geleceğe gayet olası dışkestirimlerdir (ekstrapolasyon). O zaman, fotoğrafın geçmişle ilgili anıştırdıkları konusunda nasıl bu kadar emin olabiliyoruz?



Şekil 48: Durum uzayının (bir kısmından) geçen, şimdiki makro-durumla tutarlı hat. Geçmişi yalnızca halihazırdaki makro-durumumuz üzerine bilgiye ek olarak bir Geçmiş Varsayımını kabul ederek canlandırabiliriz.

Yanıt, şüphesiz ki, Geçmiş Varsayımıdır. Dünyanın halihazırdaki makro-durumuna gerçekte Kayıtsızlık İlkesini uygulamayız – yalnızca çok düşük entropili bir geçmişle tutarlı mikro-durumları göz önünde bulundururuz. Bu da fotoğraflar, anılar ya da başka türden kayıtların anlamı üzerine çıkarımda bulunurken belirle-

yici olur. "Evrenin tüm olası evrimleri uzayında bu fotoğrafı elde etmenin en muhtemel yolu hangisidir?" diye sorarsak, yanıt bunun muhtemelen daha yüksek entropili bir geçmişten rastgele bir dalgalanmanın sonucu evrildiği olacaktır – tıpkı daha yüksek entropili bir geleceğe doğru evrileceğine bizi ikna eden kabuller gibi. Ama bunun yerine, "düşük entropili başlangıcı olan bir evrenin tüm olası evrimleri uzayında bu fotoğrafı elde etmenin en olası yolu hangisidir?" diye sorarsak, o zaman gayet doğal olarak bunun yüksek olasılıkla gerçek bir doğum günü partisi, kırmızı bir gömlek, fotoğraf makinesi ve diğer şeyler gibi ara adımlardan geçmiş olduğunu düşünürüz. Şekil 48 genel ilkeyi gösterir – tarihimizin düşük entropili bir başlangıçtan bugüne uzamasını talep ederek, izin verilen hatlar uzayını dramatik ölçüde kısıtlarız ve bize, kayıtlarımızın (büyük ölçüde) geçmişin güvenilir yansımalarını oluşturdukları kalır.

BİLİŞSEL KARARSIZLIK

Deneyimlerimden biliyorum ki, bu savlama herkesi ikna etmez. Bir engel, bir fotoğraf üzerine küçük çapta ayrıntılar, bir tarih kitabı ya da beynimizde dolanan bir anının da dahil olduğu şimdiki makrodurumla başladığımız yolundaki can alıcı öneme sahip değerlendirmedir. Her ne kadar hayli masum bir kabulmüş gibi görünse de bilgimizin yalnızca şimdiyi içermediğine dair içgüdüsel bir duyguya sahibiz; geçmiş üzerine de bir şeyler *biliyoruz* çünkü onu, geleceği görmediğimiz bir tarzda görüyoruz. Kozmoloji iyi bir örnektir, çünkü ışık hızı önemli bir rol oynar ve elle tutulur bir "geçmişteki bir olaya bakıyoruz" duygusuna sahip oluruz. Evrenin tarihini canlandırmaya çalıştığımızda, (örneğin) kozmik mikrodalga ardalana bakıp, "evrenin neredeyse 14 milyar yıl öncesini görebiliyorum; bir sonuca doğru akıl yürütmek için herhangi bir havalı Geçmiş Varsayımına başvurmam gerekmez," demek çekicidir.

Bu doğru değildir. Kozmik mikrodalga ardalanına baktığımızda (ya da uzak bir kaynaktan gelen ışığa, geçmişte olmuş gibi gözüken bir olayın fotoğrafına), geçmişe bakmış olmayız. Belli fotonların şimdi ve burada yaptıklarını gözlemleriz. Radyo teleskobumuzla gökyüzünü tarayıp, her yönde tekbiçim olmaya yakın yaklaşık 2,7 Kelvin'lik bir ışınım banyosu gözlemlersek, *şimdiki*

konumumuzdan geçen ışınım üzerine bir şeyler öğrenmiş oluruz, sonra da geçmiş üzerine bir şeyler çıkarsamak için bunu geriye doğru dış-kestirimleriz. Bu tekbiçim ışınımın hayli düzensiz bir geçmişten kaynaklandığı, ancak sıcaklıklar, Doppler kaymaları ve kütleçekim etkilerinin ince ayarlı bir komplosunun bugün bize ulaşan çok düzgün görünümlü foton kümesine yol açtığı da düşünülebilir. Bunun çok düşük bir olasılık olduğunu söyleyebilirsiniz, ama şimdiki makro-durumumuzdan tipik bir mikro-durum alıp bir Büyük Ezilmeye doğru evrilmesini izlersek elde edecek olduğumuz, tam olarak bunun zaman tersinmesidir. Doğrusu, bir Geçmiş Varsayımı kabul etmezsek, geçmişe, geleceğe olduğundan daha fazla deneysel erişimimiz yoktur.

Gerçekten de Geçmiş Varsayımı yalnızca "izin verilen" bir şey değildir; evren üzerine anlamlı bir öykü anlatmayı umut ediyorsak, kesinlikle gereklidir. Böylesi bir fikre başvurmayı reddettiğimizi ve beynimizin, fotoğraflarımızın ve tarih kitaplarımızın durumları da dahil olmak üzere yalnızca halihazırdaki makro-durumumuzun sağladığı verilerle yetindiğimizi tasavvur edin. O zaman yüksek olasılıkla gelecek kadar geçmişin de yüksek entropili bir durum olduğunu ve şu andaki koşullarımızın düşük entropili özelliklerinin rastgele dalgalanmalardan kaynaklandığını öngörecektik. Bu koşullarda, rastgele dalgalanmalar ile var olan şeyler arasında fizik yasaları anlayışımızı doğrulamak için geleneksel olarak kullandığımız tüm bilgiler ve doğrusu, matematik, mantık ve bilimsel yöntemi doğrulamak için geleneksel olarak kullandığımız tüm zihinsel durumlar da (ve yazılı savlar) bulunacaktı. Diğer bir deyişle, böylesi kabuller bize, bizatihi bu kabuller de aralarında olmak üzere, herhangi bir şeyi doğruladığımıza inanmamız için kesinlikle hiçbir neden vermeyecektir.

David Albert böylesi bir açmazdan *bilişsel kararsızlık* olarak söz eder – bir kabuller kümesinin, bizatihi bu kabulleri doğrulayacağımız nedenlerin altını oyduğu koşullar.[4] Bu içinde bulunulan anın ötesine ulaşmadan kurtulmanın mümkün olmadığı türden bir çaresizliktir. Geçmiş Varsayımı olmadan, dünya üzerine hiçbir anlaşılabilir öykü anlatamayız; bu yüzden, buna sıkışmış gibiyizdir ya da bunu fiilen açıklayan bir kuram bulmaya çalışmaya.

[4] Albert (2000).

NEDEN VE SONUÇ

Anıları ve kayıtları nasıl kullandığımız üzerine bu öyküde dramatik bir zamansal asimetri mevcuttur: Bir Geçmiş Varsayımına başvururuz, ama gelecek için olanına değil. Öngörülerde bulunurken, belli bir gelecek sınır koşuluyla uyuşmadığı gerekçesiyle halihazırdaki mikro-durumla tutarlı herhangi bir mikro-durumu bir kenara atmayız. Yaparsak ne olur? 15. Bölüm içinde, evrenin sonunda genişlemesine son verdiği ve yeniden çökmeye başladığı, zaman okunun da bu arada tersine dönmesiyle, Büyük Ezilmeye yaklaştıkça Entropinin düşmeye başladığı Gold Kozmolojisini inceleyeceğiz. Bu durumda, çöküş evresi ile bugün içinde bulunduğumuz genişleme evresi arasında genelde bir fark olmayacaktı – birbirlerinin aynısıdırlar (en azından istatistiksel olarak). Çökme evresindeki gözlemciler evrenlerinde, bizimkinde gördüğümüzden farklı bir gariplik olduğunu düşünmeyeceklerdi; *bizim* zamanda tersine evrildiğimizi düşüneceklerdir.

Yakın geleceğe izin verilen hatlarda küçük bir kısıtlamanın sonuçlarını düşünmek aydınlatıcı olur. Bu esas olarak, gelecekteki olaylar üzerine güvenilir bir kehanet olduğunda karşılaşacağımız durumdur. Harry Potter ya onun Voldemort'u öldüreceğini ya da Voldemort'un onu öldüreceğini öğrendiğinde, bu izin verilen durum uzayına çok sıkı bir kısıtlama getirir.[5]

Craig Callender gelecek üzerine bir sınır koşulunun neye benzeyeceği üzerine canlı bir öykü anlatır. Kusursuz (*Harry Potter* kitaplarındaki Profesör Trelawney'den çok daha iyi) bir sicile sahip bir kâhinin, dünyadaki tüm İmparatorluk Fabergé yumurtalarının* sonunda yatak odası çekmecenizde toplanacağını ve oraya geldiklerinde yaşamınızın sona ereceği kehanetinde bulunduğunu tasavvur edin. Aslında, pek de inanılacak bir durum değil – Rus antikalarına özellikle bir merakınız yok ve şimdi artık herhangi birini çekmecenize koymamanız için yeterli sebebiniz var. Ama bir şekilde, bir dizi öngörülemez ve olanaksız olasılıkta olay so-

[5] Rowling (2005).

Fabergé Yumurtası: 1885-1917 yılları arasında ünlü mücevherci Fabergé'nin atölyesinde, kendi gözetiminde yapılan, taşlarla bezeli yumurta şeklinde mücevherler. Yaklaşık 69 adet oldukları söylenir, en ünlüleri Rus çarlarının eşlerine ve annelerine paskalyada hediye edilmek üzere yapılmış olanlardır –çn.

nucu bu yumurtalar çekmecenizin yolunu buluyor. Çekmeceyi kilitliyorsunuz, ama kilit açılıyor; yumurtaların sahiplerini onları oldukları yerde tutmaları yönünde uyarıyorsunuz ama hırsızlar ve rastgele olaylar giderek hepsinin odanızda toplanacağı şekilde gelişiyor. Yanlışlıkla sizin adresinize postalanmış –aslında müzeye gitmesi gerekirdi– bir paket alıyorsunuz açıyorsunuz ve içinde bir yumurta olduğunu görüyorsunuz. Panik halinde yumurtayı pencereden atıyorsunuz, ama bir sokak lambasından garip bir açıyla sekip odanıza geri dönüyor ve pat diye çekmeceye yerleşiveriyor. O zaman bir kalp krizi geçirip ölüyorsunuz.[6]

Bu olaylar zinciri esnasında, hiçbir fizik yasası çiğnenmiyor. Her adımda, olanaksız olmayan, ama olasılığı aşırı düşük olaylar gerçekleşiyor. Sonuç olarak, geleneksel neden-sonuç mefhumlarımız tersine dönüyor. Gündelik yaşamımızda, nedenlerin sonuçlardan önce geldiği yolunda derin bir inanışla hareket ederiz: "yerde kırık bir yumurta var, çünkü onu düşürdüm," deriz, "yumurtayı düşürdüm, çünkü yerde kırık bir yumurta olacaktı," değil. Toplumsal dünyanın farklı durumları arasındaki nedensellik ilişkilerinin tayininin güç olduğu sosyal bilimlerde, bu sezgisel duygu bir ilke statüsüne yükselmiştir. İki özellik birbirleriyle çok fazla karşılıklı ilişki içindeyseler, hangisinin neden hangisinin sonuç olduğu ya da ikisine de tamamen farklı bir etkinin mi yol açtığı her zaman bariz değildir. Evliliklerinde mutlu olan insanların daha fazla dondurma yemeğe eğilimli olduğunu görürseniz, acaba dondurma evliliklere yararlı mı olmaktadır, yoksa mutluluk daha fazla dondurma yenmesine mi yol açmaktadır? Ama emin olabileceğiniz bir durum vardır: olaylardan biri zaman içinde diğerinden önce gerçekleştiyse. Büyükbabanızın eğitim düzeyi, sizin ergenliğinizdeki gelir düzeyinin yükselmesini etkilemiş olabilir, ama sizin gelir düzeyiniz büyükbabanızın eğitimini etkilemez.[7]

---

[6] Callender (2004). Callender'ın sürümünde, ölmüyordunuz; evren sona eriyordu, ama Büyük Eziliş senaryolarıyla karışsın istemedim. Fakat gerçekten, gelecekteki sınır koşullarının "âşık oluyorsunuz," ya da "piyangoda kazanıyorsunuz" şeklinde olduğu başka düşünce deneyleri güzel olurdu.
Davis (1985, 11) der ki: "Dört kural koyacağım, ama her biri aslında büyük nedensel düzen ilkesinin bir özel durumudur: sonra öncenin nedeni olamaz… geçmişi değiştirmenin bir yolu yoktur… oklar zamanda tek yönde uçar.

Gelecekteki sınır koşulları, bazı başka bir durumda olmayacak belli işlerin mutlaka olacağında ısrar ederek bu neden ve sonuç anlayışını tersyüz eder. Aynı şey özgür irade için de geçerlidir. Nihayetinde, gelecekte nasıl hareket edeceğimizi "seçme" yeteneğimiz, evrenin özgül mikro-durumu üzerine cehaletimizin bir yansımasıdır; Laplace'ın şeytanı ortalıkta olsaydı, tam olarak nasıl hareket edeceğimizi bilirdi. Gelecekteki sınır koşulları bir çeşit takdir-i ilahi biçimidir.

Tüm bunlar, halihazırdaki mikro-durumumuzu kısıtlayan herhangi türden bir gelecek sınır koşulunun olmadığını düşündüğümüzden ve dolayısıyla nedenin sonuçtan önce geldiğine inandığımızdan akademik görünüp uğraşılması gereksiz gelebilir. Ama halihazırdaki mikro-durumumuzu kısıtlayan *geçmiş* bir koşula inanmakta zorluk çekmeyiz. Fiziğin mikroskobik yasaları geçmişle gelecek arasında bir ayrım gözetmez ve bir olayın bir başkasına "neden" olması ya da gelecekteki farklı eylemleri, geçmişte olanların aksine "seçebileceğimiz" bunların hiçbir yerinde yazılı değildir. Geçmiş Varsayımı etrafımızdaki dünyaya anlam verebilmemiz için gereklidir, ama hesabını vermesi gereken birçok şey vardır.

MAXWELL'İN ŞEYTANI

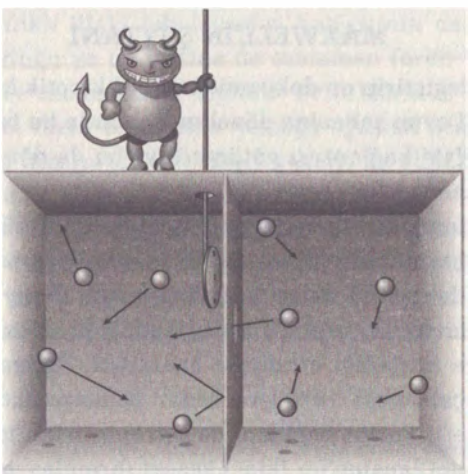
Biraz vites değiştirip on dokuzuncu yüzyıl kinetik kuramının düşünce deneyi oyun sahasına dönelim. Sonunda bu bizi entropi ile bilgi arasındaki bağlantıya götürecek ve bu da dönüp hafıza sorusunu aydınlatacak.

Termodinamiğin tümündeki belki de en ünlü düşünce deneyi Maxwell'in şeytanıdır. James Clerk Maxwell şeytanını –Laplace'ınkinden daha ünlü ve kendi alanında aynı düzeyde tehditkâr– 1867'de, atom varsayımının termodinamik problemlerine henüz uygulanmaya başladığı sıralarda önermişti. Boltzmann'ın konu üzerine ilk çalışması 1870'lere kadar gelmeyecekti, bu yüzden Maxwell kinetik kuram bağlamında entropinin tanımına başvuramıyordu. Ama Clausius'un İkinci Yasayı formülasyonunu biliyordu: iki sistem temas durumunda olduklarında, ısı sıcak olandan soğuk olana doğru akma eğilimindedir ve her ikisinin sıcaklığını dengeye getirir. Maxwell atomlar üzerine "sıcaklığın" atomların ortalama kinetik enerjisini ölçtüğünü bilecek kadar bilgi sahibiy-

di. Ama şeytanıyla, hiç enerji zerk etmeden iki sistem arasındaki sıcaklık farkını artırmanın bir yolunu bulmuş gibiydi – görünürde, İkinci yasayı ihlal ediyordu.

Düzenek basittir: artık çok aşina olduğumuz, ikiye bölünmüş gaz kutusu. Ama rastgele moleküllerin sağa-sola geçmelerini sağlayan küçük bir açıklık yerine küçük bir açıklık ve çok küçük bir kapı vardır, kayda değer bir enerji harcanmadan açılıp kapatılabilen bir kapı. Kapıda, her iki yandaki tüm molekülleri gözleyen bir şeytan oturur. Sağdan hızla ilerleyen bir molekül yaklaştığında, şeytan onun sol tarafa geçmesine izin verir; soldan yavaş ilerleyen bir molekül yaklaştığında, şeytan onun sağa geçmesine izin verir. Ama yavaş ilerleyen bir molekül sağdan ya da hızlı ilerleyen bir molekül soldan yaklaşırsa, şeytan kapıyı kapatır ki kendi taraflarında kalsınlar.

Ne olacağı açıktır: yavaş yavaş ve hiç enerji kullanılmadan, yüksek enerjili moleküller solda, düşük enerjili moleküller de sağda toplanacaktır. Kutunun iki yanındaki sıcaklıklar eşit olarak başlandıysa, yavaş yavaş ıraksayacaklardır – sol daha sıcak, sağ daha soğuk olacaktır. Ama bu Clausius'un İkinci Yasayı formülasyonunun doğrudan ihlalidir. Ne oluyor?



Şekil 49: Yüksek enerjili moleküllerin kutunun sağ yarısından sol yarısına geçmesine, düşük enerjili olanların da sol yarısından sağ yarısına geçmesine izin vererek, Maxwell'in şeytanı İkinci Yasanın görünürde ihlal edilmesiyle, ısının soğuk bir sistemden sıcak bir sisteme geçmesini sağlamıştır.

Yüksek entropili, gazın bütün kutuda aynı sıcaklıkta bulunduğu bir durumda başladıysak ve güvenilir bir şekilde (herhangi bir başlangıç durumu için, ince ayar yapılmış belli durumlar için değil) daha düşük entropili bir duruma evrildiysek, çok sayıda başlangıç durumunun hepsinin birden az sayıda nihai duruma evrildiği bir durum yarattık. Ama dinamik yasalar bilgiyi koruyan ve tersinirse, bu olamaz. Tüm bu başlangıç durumlarının daha az nihai durumlara sıkışması için yer yoktur. Bu yüzden, gazdaki entropi azalacaksa, açıkça bir yerlerde entropinin telafi edici şekilde yükselişi görülmelidir. Ve entropinin gidebileceği yalnızca bir tek yer vardır: Şeytanın içi.

Sorun şudur: bu nasıl oluyor? Şeytanın entropisi yükselmiş gibi durmuyor; deneyin başlangıcında sakin sakin orada oturuyor, moleküllerin gelmesini bekliyordu, deneyin sonunda da hâlâ aynı sükunette orada oturuyor. Utanç verici olan, bilim insanlarının bu problem üzerine doğru düşünme yolunu bulmak için uzun bir süre –yüz yıldan fazla– geçirmiş olmaları. Macar asıllı Amerikalı fizikçi Leó Szilárd ve Fransız fizikçi Léon Brillouin –her ikisi de yeni kuantum mekaniği bilimini pratik uygulaması olan problemlere uygulamada öncü olmuşlardır– şeytan tarafından toplanan bilgi ile entropisi arasındaki can alıcı önemdeki ilişkinin belirlenmesinde yardımcı oldular. Ama IBM için çalışan iki farklı fizikçi/bilgisayar bilimcisinin, 1962'de Rolf Landauer ve 1982'de Charles Bennett'in katkıları gelene kadar, şeytanın entropisinin İkinci Yasaya göre neden her zaman yükselmesi gerektiği tam olarak açıklığa kavuşmadı.[8]

KAYDETMEK VE SİLMEK

Maxwell'in şeytanını anlama yolundaki birçok girişim çevresinde dolaşan moleküllerin hızlarını nasıl ölçtüğü üzerine yoğunlaşmıştır. Landauer ve Bennett'in büyük kavramsal sıçramalarından

[8] Maxwell'in şeytanının öyküsünü bizim burada değindiğimizden çok daha ayrıntılı bir şekilde anlatan birkaç çalışma vardır. Leff ve Rex (2003) bir miktar özgün makale toparlamıştır. Von Baeyer (1998) termodinamiğin tarihini izlemek için tema olarak şeytanı kullanır; Seife (2006) bilgi kuramına ve bu bilmecenin çözümüne olan katkısına mükemmel bir giriş sunar. Bennett ve Landuer de *Scientific American* içinde çalışmaları üzerine yazmışlardır (Bennett ve Landauer, 1985; Bennett, 1987).

biri, Şeytanın bu bilgiyi hangi yoldan *kaydettiği* üzerine odaklanmak olmuştur. Ne de olsa, şeytan –bir mikrosaniye için de olsa– hangi molekülleri geçireceğini, hangilerini olduğu tarafta bırakacağını anımsamak zorundadır. Gerçekten de şeytan başlangıçta hangi moleküllerin hangi hıza sahip olduklarını bilseydi, hiçbir ölçüm yapması gerekmezdi; dolayısıyla problemin can alıcı noktası ölçüm süreci olamaz.

Bu yüzden, şeytanı tüm moleküllerin hızlarını kaydedecek şekilde donatmamız gerekir – belki de, kolaylık olsun diye tüm gerekli bilgiyi kaydedecek kadar yeri olduğunu varsaydığımız bir tablet taşıyordur. (Tablet sonsuz büyüklükte olmazsa, daha büyük ya da küçük tabletler düşünmemiz bir şey fark ettirmez.) Bu da birleşik gaz/şeytan sisteminin entropisini hesaplarken tabletin durumunun da dahil edilmesi gerektiği anlamına gelir. Özellikle, moleküllerin hızlarını kaydedebilmesi için tabletin işe boş olarak başlaması gerekir.

Ama boş bir tablet, şüphesiz ki, düşük entropili bir geçmiş sınır koşulundan başka bir şey değildir. Bu başka bir kılık altında aradan sızmış Geçmiş Varsayımının Maxwell'in şeytanı sürümünden başka bir şey değildir. Durum buysa, birleşik gaz/şeytan sisteminin entropisi açıkça olması gerektiği kadar yüksek değildir. Şeytan birleşik sistemin entropisini düşürmez; sadece gazın durumundaki entropiyi tabletin durumuna aktarır.

Bu savdan kuşku duyuyor olabilirsiniz. Ne de olsa, düşünebilirsiniz ki şeytan her şey yapılıp söylendiğinde, tableti *silemez* mi? Ve bu da gazın entropisi düşerken, tableti özgün durumuna döndürmez mi?

Bu Landauer ve Bennett'in can alıcı sezgisidir: Hayır, tableti silemezsiniz. En azından, tersinir dinamik yasalar altında çalışan kapalı bir sistemin parçasıysanız, bilgiyi silemezsiniz. Böyle ifade edildiğinde, sonuç hayli inanılır duruma gelir: bilgiyi tamamen silebiliyorsanız, evrimi bir önceki durumuna nasıl çevirebileceksiniz? Silmek mümkün olsaydı, ya temel yasalar tersinmez olurdu –bu durumda şeytanın entropiyi düşürebilmesi şaşırtıcı olmazdı– ya da aslında kapalı bir sistemde olmazdınız. Bilgiyi silme eylemi mutlaka dış dünyaya entropi aktarır. (Gerçek dünyada fiili kalem yazısının silinmesi durumunda, bu entropi esas olarak ısı, toz ve minik lastik parçaları şeklinde olurdu.)

Yani iki seçeneğiniz var. Ya şeytan, Geçmiş Varsayımının şeytani bir sürümünde boş bir düşük entropili tabletle başlıyor ve gazdan tablete entropi aktarımı yapıyor ya da şeytanın tabletten bilgiyi silmesi gerekiyor ki bu durumda entropi dış dünyaya aktarılıyor. Her iki durumda da İkinci Yasa güvendedir. Ama bu arada, bilgi ile entropi arasındaki büyüleyici bağlantının kapısını açmış olduk.

BİLGİ FİZİKSELDİR

Fiziğin dinamik yasalarını tartışırken bilgi sözcüğünü birçok kez ortaya attıysak da –tersinir yasalar bilgiyi korur– bu kavram enerji, ısı ve entropinin karmaşık dünyasında biraz soyut kalır. Maxwell'in şeytanının derslerinden biri, bunun bir yanılsama olduğudur: *Bilgi fizikseldir*. Daha somut şekilde, bilgiye sahip olmak bir sistemden, başka şekilde elde edemeyeceğimiz yararlı iş çıkartmamızı sağlar.

Leó Szilárd bunu Maxwell'in şeytanının basitleştirilmiş bir modelinde açıklıkla göstermiştir. Gaz kutumuzun yalnızca bir tek molekül içerdiğini tasavvur edin; "sıcaklık" bu tek gaz molekülünün enerjisi olacaktır. Bütün bildiğimiz buysa, bu molekülün yararlı iş yapmasını sağlamanın bir yolu yoktur; molekül öylece bir tenekedeki çakıl taşı gibi takırdayıp durur. Ama tek bir bilgi parçasına sahip olduğumuzu tasavvur edin: molekülün kutunun sağında mı yoksa solunda mı olduğu. Bununla, bir de düşünce deneyi düzeyi akıllıca oynamalarla, molekülün iş yapmasını sağlayabiliriz. Tek yapmamız gereken, kutunun diğer yanına hızla bir piston sokmaktır. Molekül buna çarpacak, pistonu itecek ve biz de bu dış hareketi yararlı bir işte, örneğin bir çarkı çevirmekte kullanabileceğiz.[9]

---

[9] Bu senaryo daha da ileriye götürülebilir. Kutunun T sıcaklığındaki bir termal gaz banyosuna daldırılmış olduğunu, kutunun ısı aktardığını ve böylece içerideki molekülün dışarıdaki gazla termal dengede tutulduğunu tasavvur edin. Molekülün kutunun hangi yanında bulunduğu konusundaki bilgimizi sürekli yenileyebilirsek, pistonu akıllıca doğru tarafa sokarak ondan enerji çıkartmayı sürdürebiliriz; molekül pistona enerji kaybettikten sonra, enerjiyi termal banyodan geri kazanacaktır. Yaptığımız, yalnızca farazi olarak sınırsız bilgi kaynağından güç alarak bir devridaim makinesi inşa etmek olmuştur. (Bu da bilginin hiçbir zaman bedavaya gelmediği konusunu anlamamızı sağlar.) Szilárd tek bir bilgi tanesinden ne kadar enerji çıkartılabileceğini bile nicelendirmiştir: kT log 2, burada k Boltzmann sabitidir.

Szilárd'ın düzeneğinde bilginin oynadığı can alıcı role dikkat edin. Molekülün kutunun hangi tarafında bulunduğunu bilmiyor olsaydık, pistonu nereye sokacağımızı da bilmezdik. Rastgele soksaydık, iki seferden birinde dışarı itilecek, birinde içeri çekilecekti; ortalamada, hiç yararlı iş elde edemeyecektik. Elimizdeki bilgi, görünürde azami entropiye sahip bir sistemden enerji çıkartmamızı sağlamıştır.

Açıklığa kavuşturmak için. Son tahlilde, bu düşünce deneylerinin hiçbiri İkinci Yasanın ihlalini sağlamaz. Doğrusu, bilginin oynadığı can alıcı rolü gerektiği gibi hesaba katmazsak, İkinci Yasayı ihlal edermiş gibi görünen yöntemler gösterir. Şeytan tarafından toplanan ve işlenen bilgi, tutarlı bir entropi öyküsü için bir şekilde hesaba katılmalıdır.

Entropi ile bilgi arasındaki somut ilişki 1940'larda Bell Laboratuvarlarında çalışan bir mühendis/matematikçi olan Claude Shannon tarafından geliştirilmiştir.[10] Shannon gürültülü kanallardan etkin ve güvenilir sinyaller göndermenin yollarını bulmakla ilgileniyordu. Aklına bazı mesajların diğerlerine göre daha etkili mesajlar taşıdığı fikri gelmişti, çünkü bunlar daha "şaşırtıcı" ya da beklenmedik oluyordu. Size güneşin yarın sabah doğudan doğacağını söylesem, aslında pek bir bilgi vermiş olmam, çünkü zaten bunu bekliyor olursunuz. Ama size yarın en yüksek sıcaklığın 25 santigrat derece olduğunu söylesem mesajım daha fazla bilgi içerir, çünkü bu mesaj olmadan sıcaklığın ne olacağını tam olarak bilemezdiniz.

Shannon bir mesajın etkili bilgi içeriği üzerine bu sezgili fikri nasıl şekillendireceğini buldu. Belli bir türden olası tüm mesajlar kümesini ele aldığımızı tasavvur edin. (Bu size mesajlar değil de fiziksel sistemlerden söz ederken düşündüğümüz "durum uzayını" anımsatmalı.) Örneğin bize bir para atışının sonucu söylenirse, yalnızca iki olası mesaj söz konusudur: "yazı" ya da "tura." Mesajı almazdan önce, her iki olasılık da aynı düzeyde olasıdır; mesajı almamız sonrasında, tam olarak bir parça bilgi almış oluruz.

[10] On dokuzuncu yüzyılın başlarında termodinamikteki öncü çalışmaların daha verimli buhar makineleri inşa etmekle ilgilenen pratik zekâya sahip kişiler tarafından gerçekleştirildiği gibi, yirminci yüzyılda da bilgi kuramı üzerine öncü çalışmaların daha iyi iletişim ve bilgisayar sistemleri inşa etmekle ilgilenen pratik zekâya sahip kişiler tarafından gerçekleştirilmiş olması ilginçtir.

Diğer yandan, yarın en yüksek sıcaklığın ne olacağı bize söylenirse, olası çok sayıda mesaj var; diyelim, Celcius derecesindeki tüm sıcaklıkları temsil eden, –273 ile artı sonsuz arası herhangi bir tam sayı. (–273 Celcius mutlak sıfırdır.) Ama bunların hepsi aynı düzeyde olası değildir. Los Angeles'ta yaz mevsimiyse, 27 ya da 28 Celcius sıcaklıklar hayli sıradanken, –13 ya da +4324 dereceler görece enderdir. Yarın sıcaklığın bu pek de olası olmayan sayılardan biri olacağını öğrenmek gerçekten büyük miktarda bilgi anlamına gelir (muhtemelen küresel çapta bir felaketle ilişkilidir).

O zaman, kabaca konuşursak bu biçimi alan belli bir mesajın olasılığı düştükçe bir mesajın bilgi içeriği yükselir. Ama Shannon bundan biraz daha kesin olmak istiyordu. Özellikle, birbirlerinden tamamen bağımsız iki mesaj almamız durumunda, aldığımız toplam bilginin her bir mesajın içerdiği bilgilerin toplamına eşit olmasını istiyordu. (Boltzmann entropi formülünü bulduğunda, üretmek istediği özelliklerden birinin, birleşik bir sistemin entropisinin tek tek sistemlerin entropilerinin toplamına eşit olması olduğunu anımsayın.) Biraz yokladıktan sonra, Shannon yapılacak doğru şeyin, belli bir mesajı alma olasılığının *logaritmasını* almak olduğunu buldu. Nihai sonuç şöyleydi: bir mesajın içeriğindeki "öz-bilgi," mesajın o belli biçimi alma olasılığının logaritmasının eksi değerine eşittir.

Bu sözcüklerin birçoğunun aşina gelmesi tesadüf değildir. Boltzmann entropiyi belli bir makro-durumdaki mikro-durumların sayısının logaritmasıyla ilişkilendirmişti. Ama Kayıtsızlık İlkesine bakılırsa, bir makro-durumdaki mikro-durumların sayısı açıkça tüm durum uzayı içinde bunlardan birini rastgele seçmenin olasılığıyla orantılıdır. Düşük entropili bir durum şaşırtıcı, bilgi yüklü bir mesaj gibiyken, yüksek entropili bir durumda olduğunuzu bilmek size pek bir şey katmaz. Her şey olup bittiğinde, bir "mesajı" bir sistemin hangi makro-durumda olduğunun belirtilmesi olarak düşünürsek, entropi ve bilgi arasındaki ilişki çok basittir: bilgi, makro-durumun olası azami entropisi ile o andaki entropisi arasındaki farktır.[11]

[11] Bunu daha da ileriye götürebiliriz. Gibbs'in bir sistemin çeşitli farklı durumlarda olma olasılığına bağladığı bir entropi tanımına varması gibi, bir olası mesajlar uzayının "bilgi entropisini," mesajın çeşitli biçimler alma olasılığı terimleriyle tanımlayabiliriz. Gibbs entropi ve bilgi entropi formüllerinin,

YAŞAM BİR ANLAM İFADE EDİYOR MU?

Entropi ve bilgiyi bağlayan bu fikirlerin termodinamik ile yaşam arasındaki ilişki üzerine düşünmeye başladığımızda devreye girmesi sürpriz olmaz. Bu ilişkinin dolambaçsız olduğu söylenemez; her ne kadar kuşkusuz yakın bir bağlantı varsa da bilim insanları bırakın işleyişini tamamen anlamış olmayı, "yaşamın" ne anlama geldiği konusunda bile daha kendi aralarında anlaşmaya varamamıştır. Bu süregiden bir çalışma alanıdır, yakın zamanda bir ilgi patlaması yaşamış, biyoloji, fizik, kimya, matematik, bilgisayar bilimleri ve karmaşıklık [*complexity*] incelemelerini bir araya getirmiştir.[12]

Henüz "yaşamın" nasıl tanımlanacağı sorusuna girmeden, sonra gelmesi gerekirmiş gibi gelen bir soruyu sorabiliriz: Yaşam, termodinamiği anlamlı kılar mı? Siz heyecanlanmadan yanıtı vereyim: evet. Ama tersi de iddia edilmiştir – saygıdeğer bilim insanları değil, Darwinci doğal seçilimin Yeryüzünde yaşamın evrimi için doğru açıklama olduğunu itibarsızlaştırmak isteyen yaradılışçılar tarafından. Savlarından biri, "entropi sürekli yükselir" diye okudukları ve tüm doğal süreçlerde çürüme ve düzensizliğe doğru evrensel bir eğilim olarak yorumladıkları İkinci Yasanın yanlış anlaşılmasına dayanır. Yaşam her neyse, onun karmaşık ve düzenli olduğu hayli açıktır – o zaman, düzensizliğe doğru doğal eğilimle nasıl uzlaşır?

Şüphesiz ki burada herhangi bir çelişki yoktur. Yaradılışçı sav aynı şekilde buzdolaplarının da olanaksız olduğunu iddia edebilirdi, bu yüzden açıkça yanlıştır. İkinci Yasa entropinin hep yükseldiğini söylemez. Entropinin, dışarıyla fark edilebilir bir etkileşimi bulunmayan kapalı bir sistemde hep yükseldiğini (ya da sabit kaldığını) söyler. Yaşamın böyle olmadığı açıktır; canlı organizmalar dış dünyayla güçlü bir şekilde etkileşirler. Açık sistemlerin mükemmel örnekleridirler. Bu kadar; bu konudan kurtulup, yaşamlarımıza devam edebiliriz.

Ama yaradılışçı savın –yanlış olsa da– o kadar da aptalca olmayan, daha ileri bir sürümü de vardır ve tam olarak neden yan-

---

her ne kadar içeriğindeki simgeler biraz farklı anlamlara gelseler de aynı olduğu görülüyor.

Yakın zamanlı araştırmalar için, *bkz.* Morange (2008) veya Regis (2009).

lış olduğunu görmek aydınlatıcıdır. Daha ileri sav niceldir: doğru, canlılar açık sistemlerdir, bu yüzden ilkesel olarak bir diğer tarafta yükselmesi koşuluyla entropiyi düşürebilirler. Ama dış dünyadaki entropi artışının, canlıların düşük entropisini karşılamaya gerçekten yeterli olduğunu nereden biliyorsunuz?

İkinci Bölümde sözünü etmiş olduğum gibi, Yerküre ve biyosfer termal dengeden çok uzak sistemlerdir. Dengede, sıcaklık her yerde aynı olur, halbuki başımızı kaldırıp baktığımızda, her tarafı soğuk bir gökyüzünde çok sıcak bir güneş görüyoruz. Entropinin artması için çok alan var ve olan da tam olarak bu. Ama sayıları elden geçirmek bilgilendirici olur.[13]



Şekil 50: Güneşten yoğun, düşük entropili biçimde enerji alırız ve yaygın, yüksek entropili biçimde evrene geri yansıtırız. Her bir yüksek enerjili foton karşılığında, Yerküre yaklaşık 20 düşük enerjili foton yayar.

Tek bir sistem olarak ele alınca Yerkürenin enerji bütçesi hayli basittir. Güneşten ışınım yoluyla enerji alırız; yine ışınım yoluyla, aynı miktar enerjiyi uzay boşluğuna kaybederiz. (Tam olarak aynı miktar değil; nükleer bozunma gibi süreçler de dünyayı ısıtır, uzaya enerji sızdırır ve yayılan enerjinin düzeyi kesinlikle sabit değildir. Yine de hayli yakın bir rakamdır.) Ama miktar aynı olsa da aldığımız enerji ile geri verdiğimiz arasında büyük bir *nitelik* farkı vardır. Anımsayın, Boltzmann öncesi günlerde, entropi belli

[13] Bunu izleyen sav, Styer'dan (2008) esinlenmiş olan Bunn'a (2009) aittir. Ayrıca ayrıntılar ve ek savlar için, *bkz.* Lineweaver ve Egan (2008).

miktarda enerjinin yararsızlığının bir ölçüsü olarak anlaşılıyordu; düşük entropili enerji biçimleriyle, bir motoru çalıştırmak ya da tahıl öğütmek gibi yararlı bir işe koşulabilirken, yüksek entropili enerji biçimleri oldukları yerde kalırlar.

Güneşten elde ettiğimiz enerji, düşük entropili, yararlı biçimdedir, uzaya geri ışıdığımız enerjinin entropisiyse çok daha yüksektir. Güneşin sıcaklığı Yerkürenin ortalama sıcaklığının yaklaşık 20 katıdır. Işınım açısından, sıcaklık sadece onu oluşturan fotonların ortalama enerjisidir, bu yüzden Yerküre aldığı her bir yüksek enerjili (kısa dalga, görünür) foton için 20 düşük enerjili (uzun dalga, kızılaltı) foton yaymak durumundadır. Biraz hesap sonrası, 20 kat fazla fotonun doğrudan 20 kat entropi anlamına geldiği görülür. Yerküre aynı miktar enerjiyi yaymaktadır, ama 20 kat yüksek entropiyle.

Burada işin zor kısmı, Yeryüzündeki yaşam biçimlerinin "düşük entropili" olduğunu söylerken tam olarak ne kastettiğimizi anlamaktır. İri tanelendirmeyi nasıl yapacağız? Bu soruya mantıklı yanıtlar bulmak mümkündür, ama bu karmaşıktır. Neyse ki, benimseyebileceğimiz dramatik bir kestirme vardır. Yerkürenin toplam biyokütlesini düşünün – her türden canlı organizmada bulunan bütün moleküller. Termal dengede bulunuyorsak, bu moleküller topluluğunun sahip olabileceği azami entropiyi kolaylıkla hesaplayabiliriz; sayıları girersek (biyokütle 10^{15} kilogramdır; yerkürenin sıcaklığı da 255 Kelvin'dir), azami entropisinin 10^{44} olduğunu buluruz. Bunu da sahip olabileceği asgari entropiyle karşılaştırabiliriz – kesinlikle eşsiz bir durumsa, entropi de kesinlikle sıfır olacaktır.

Böylece biyokütlemiz kadar tamamen düzensiz bir moleküller topluluğunu kesinlikle –halihazırdaki ekosistemimiz de aralarında olmak üzere– herhangi bir dizilime sokmak için gerekebilecek en yüksek entropi 10^{44}'tür. Yaşamın evrimi İkinci Yasayla tutarlıysa, Yerkürenin, yaşamın evrimi boyunca, yüksek enerjili fotonları düşük enerjili fotonlara dönüştürerek, yaşamı yaratarak düşürdüğü entropiden daha fazla entropi üretmiş olması gerekir. Kuşkusuz 10^{44} hayli cömert bir rakamdır – yaklaşık o kadar bile entropi üretmiş olmamız gerekmez, ama o kadar üretebilirsek bile İkinci Yasa güvendedir.

Yararlı güneş enerjisini yararsız ışıyan ısıya dönüştürerek bu kadar entropi üretmek ne kadar sürer? Bir kez daha Güneşin sı-

caklığını filan devreye sokarak bulunun yanıt şudur: yaklaşık 1 yıl. Her yıl, gerçekten verimli olsaydık, tüm biyoküre kadar büyük, rastgele bir kütle alıp, bunu tasavvur edebileceğimiz kadar küçük entropiye sahip bir dizilime dönüştürebilirdik. Gerçekte, yaşam milyarlarca yılda evrildi ve "Güneş + Yerküre (yaşam dahil) + kaçan ışınım" sisteminin toplam entropisi biraz arttı. Yani İkinci Yasa bildiğimiz yaşamla kusursuz bir uyum içindedir – kuşkunuz da yoktu zaten.

YAŞAM HAREKET HALİNDE

Yaşamın, Termodinamiğin İkinci Yasasını ihlal etmediğini bilmek güzel. Ama "yaşamın" aslında ne demeğe geldiğini açıklayacak ayakları yere basan bir anlayış olsa da iyi olurdu. Bilim insanları henüz tek bir tanımda görüş birliğine varamadılar, ama canlı organizmalarla ilişkilendirilen bir dizi özellik var: karmaşıklık, örgütlülük, metabolizma, bilgi işleme, üreme, dürtülere tepki verme, yaşlanma. Canlı varlıkları –yosunlar, solucanlar, ev kedileri– karmaşık ama cansız nesnelerden –orman yangınları, galaksiler, kişisel bilgisayarlar– ayırt edecek bir kıstaslar kümesini formüle etmek zordur. Bu arada, yaşamın öne çıkan özelliklerini, canlı ya da cansız bağlamlarında görünmeleri arasında açık bir ayrıma gitmeden çözümleyebiliriz.

Bu yoldaki ünlü bir girişim, bir fizikçinin perspektifinden yaşam kavramını ele alan ve yazarı da Erwin Schrödinger'den başkası olmayan, *What is Life?** başlığını taşıyan kısa bir kitaptır. Schrödinger kuantum kuramını bulanlardan biridir; klasik mekanikten kuantum mekaniğine geçerken dünyanın dinamik betimlemesini yaptığımızda, Newton'ın hareket yasalarının yerini alan denklemler onunkilerdir. Dünyayı dolaysız algılayışımız ile kuantum kuramının formel yapısı arasındaki farklılıkların ana hatlarına dikkat çeken düşünce deneyi Schrödinger'in kedisi de ondan kaynaklanmıştır.

Naziler iktidarı ele geçirdiğinde, Schrödinger Almanya'yı terk etti, ama 1933'te Nobel Ödülünü kazanmış olmasına karşın, başka bir yerde sürekli bir iş edinmeyi başaramadı, bunda en önemli etkenlerden bir de renkli yaşamıydı. (Karısı Annemarie metres-

* E. Schrödinger, *Yaşam Nedir?*, çev. C. Kapkın, Evrim Yayınları –çn.

leri olduğunu biliyordu ve onun da sevgilileri olmuştu; o sırada Schrödinger de asistanlarından birinin karısı olan Hilde March'la bir ilişki yaşıyordu, kadın sonunda ona bir çocuk doğurdu.) Daha sonra İrlanda'ya yerleşti ve orada, Dublin'de bir İleri Araştırmalar Enstitüsü (Institute for Advanced Studies) kurulmasına yardım etti.

Schrödinger İrlanda'da bir dizi konferans verdi, bunlar daha sonra *What Is Life?* başlığıyla toplu olarak yayımlandı. Yaşam olgusunu bir fizikçinin perspektifinden incelemekle ilgileniyordu, özellikle de bir kuantum mekaniği ve istatistiksel mekanik uzmanı olarak. Kitap üzerine belki de en dikkat çekici husus, Schrödinger'in, genetik bilginin zaman içindeki istikrarının en iyi bilgiyi kimyasal yapısında saklayan bir tür "aperiyodik (düzensiz, salınımsız) kristalin" varlığının öngörülmesiyle açıklanabileceği sonucuna varmasıdır. Bu sezgi Frank Crick'i moleküler biyoloji lehine fiziği bırakmaya teşvik etmiş ve sonunda James Watson'la birlikte DNA'nın çifte sarmallı yapısını keşfetmelerinin yolunu açmıştı.[14]

Ama Schrödinger aynı zamanda "yaşamın" nasıl tanımlanacağı yolunda da fikir yürütmüştü. Bu yönde özgül bir öneride bulunmuştu, bu biraz formal olmayan ve laubali bir şey gibi anlaşılmış ve belki de olması gerektiği kadar ciddiye alınmamıştı:

> Yaşamın ayırt edici özelliği nedir? Bir madde parçasının canlı olduğu ne zaman söylenebilir? "Bir şeyler yapmaya" koyulduğunda, çevresiyle malzeme değişimine giriştiğinde ve bunu, cansız bir madde parçasının benzer koşullarda "yapmayı sürdürmesini" bekleyeceğimizden çok daha uzun bir süre yaptığında.[15]

Kabul etmek gerekir ki, bu biraz müphemdir; "yapmayı sürdürmek" tam olarak ne anlama gelir, olmasını ne kadar "beklememiz" gerekir ve neler "benzer koşul" sayılır? Dahası, bu tanımda örgütlenme, karmaşıklık, bilgi işleme ya da buna benzer şeylerden hiç söz edilmez.

Yine de Schrödinger'in fikri canlıyı cansızdan ayıran önemli bir şeyi yakalamıştır. Zihninin arkasında, kuşkusuz Clausius'un İkinci Yasa sürümünü düşünüyordu: Termal temas durumunda-

[14] Crick (1990).
Schrödinger (1944), 69.

ki nesneler ortak bir sıcaklığa doğru (termal denge) evrilirler. Bir buz küpünü bir bardak ılık suya koyarsak, buz küpü hayli hızlı bir şekilde erir. İki nesne çok farklı malzemeden yapılmış olsalar da –diyelim ki, bir bardak suyun içine plastik bir "buz küpü" koysak– yine de aynı sıcaklığa gelirler. Daha genel olarak, cansız fiziksel nesneler yatışıp durağan duruma gelmeye eğilimlidir. Bir kaya parçası, çığ sırasında tepeden aşağıya yuvarlanır, ama çok geçmeden dibe ulaşır, gürültü ve ısı üreterek enerji yayar ve tamamen hareketsiz bir duruma gelir.

Schrödinger'in görüşüne göre, canlı organizmalar açısından, bu hareketsiz duruma gelme süreci çok daha uzun sürer, hatta süresizce ertelenebilir. Bir buz küpü yerine, su bardağımızın içine bir Japon balığı koyduğumuzu tasavvur edin. Buz küpünün (su ya da plastik olsun) aksine, Japon balığı öylesine suyla denge durumuna gelmez – en azından, birkaç dakika ya da saat içinde değil. Canlı kalır, bir şeyler yapar, yüzer, çevresiyle malzeme değiş tokuşu yapar. Bir göle ya da gıdanın bulunduğu bir akvaryuma konursa, çok daha uzun süre devam eder.

Ve bu, diye önerir Schrödinger, yaşamın özüdür: kendi çevresiyle dengeye gelme doğrultusundaki doğal eğilime karşı koymak. İlk bakışta, normal koşullarda yaşamla ilişkilendirdiğimiz özelliklerin birçoğunu bu tanımda bulamayız. Ama organizmaların, cansız şeylerin yatışmalarından çok daha sonra bile bir şeyler yapmayı neden sürdürdüklerini –Japon balıklarının, buz küpü eridikten çok sonra bile neden yüzmeyi sürdürdüğünü– düşünmeye başlarsak, hemen organizmaların karmaşıklıklarına ve bilgi işleme becerilerine çekiliriz. Dışa dönük yaşam belirtisi, bir organizmanın uzun süre yapmayı sürdürme becerisidir, ama bu becerinin arkasındaki mekanizma çok sayıda hiyerarşik yapı düzeyi arasındaki ince bir karşılıklı eylemdir.

Bu konuda biraz daha özgül olmak istiyoruz. "Canlı varlıklar beklediğimizden daha uzun süre yapmayı sürdüren şeylerdir ve yapmayı sürdürmelerinin nedeni de karmaşık olmalarıdır," demek güzel, ama kuşkusuz bu öykünün devamı da var. Ne yazık ki, bu basit ya da bilim insanlarının çok iyi anlayabildikleri bir öykü değil. Yaşamın doğasında kuşkusuz entropi önemli bir rol oynuyor, ama onun da yakalayamadığı birçok önemli veçhe var. Entropi zamanın tek bir anındaki tek tek durumları gösterir, ama

yaşamın öne çıkan özellikleri zaman içinde evrilen süreçler içerir. Kendi başına, entropi kavramı zaman içinde evrim için yalnızca çok kaba çıkarımlar sağlar: yükselmeye ya da sabit kalmaya eğilimlidir, azalmaz. İkinci Yasa entropinin *ne hızda* yükseleceği ya da hangi yöntemlerle yükseleceği konusunda bir bilgi vermez – olmak üzerine değil, oluş üzerinedir.[16]

Yine de "yaşamın" anlamı üzerine olası tüm soruları yanıtlamaya heveslenmesek bile kuşkusuz önemli rol oynayan bir kavram vardır: *serbest enerji*. Schrödinger *What Is Life?*'ın ilk basımında bu fikrin etrafında dolanmış, ama daha sonraki basımlarda buna daha büyük bir önem atfetmediğinden duyduğu pişmanlığı ifade eden bir not eklemişti. Serbest enerji fikri entropi, İkinci Yasa, Maxwell'in şeytanı ve canlı organizmaların cansız nesnelerden daha uzun süre yapmayı sürdürme becerilerini bir araya getirmekte yardımcı olur.

ENERJİ BEDAVA, AMA BİRA BEDAVA DEĞİL*

Biyolojik fizik alanı son yıllarda dramatik bir popülerlik artışı yaşadı. Bu kuşkusuz iyi bir şey – biyoloji önemlidir, fizik de önemlidir ve iki alanın birleşme noktasında çok sayıda ilginç problem vardır. Ama bu alanın o kadar uzun süre alçak profilli gitmesi de şaşırtıcı değildir. Bir fiziğe giriş ders kitabı alıp bunu bir biyolojik fizik kitabıyla karşılaştırırsanız, söz dağarcığında ciddi bir kayma fark edersiniz.[17] Geleneksel fiziğe giriş kitapları *kuvvet, momentum, korunum* gibi sözcüklerle doluyken, biyofizik kitapları *entropi, bilgi* ve *yitirgenlik* gibi sözcükler içerir.

Terminolojideki bu farklılık altta yatan bir felsefe farkını yansıtır. Galileo kütleçekim alanlarında nesnelerin nasıl düştüğü üzerine düşünürken ilk kez olarak bizi sürtünmeyi ihmal etmeye

---

[16] *From Being to Becoming* (*Olmaktan Oluşa*), istatistiksel mekanikte "yitirgen yapılar (*dissipative structures*)" ve kendi kendini organize eden sistemler üzerine öncü çalışmalarda bulunmuş Belçikalı Nobel Ödülü sahibi Ilya Prigogine'in popüler kitabının (1980) adıdır. Aynı zamanda *bkz.* Prigogine (1955), Kauffman (1993) ve Avery (2003).

Burada kullanılan "serbest enerji" kavramının İngilizcedeki karşılığı "free energy" terimidir, İngilizcede "free" sözcüğü aynı zamanda "bedava" anlamına da geldiğinden, yazar burada bir kelime oyunu yapmış –çn.

Yakın tarihli iyi bir kitap: Nelson (2007).

yüreklendirdiğinden beri, fizik geleneksel olarak basit mikroskobik dinamik yasaların zedelenmemiş tezahürlerinden sapmaya neden olacak sürtünme, yitirgenlik, gürültü ve başka her şeyi en aza indirgemek için çok çaba sarf etmiştir. Biyolojik fizikte bunu yapamayız; bir kez sürtünmeyi ihmal etmeye başladığınızda, yaşamı ihmal etmiş olursunuz. Gerçekten de üzerinde düşünülmesi gereken bir alternatif tanım vardır: Yaşam örgütlü sürtünmedir.

Ama diye düşünürsünüz, bu hiç de doğru gözükmüyor. Yaşam hep yapı ve örgütlenmeyi sürdürme üzerinedir, sürtünme ise entropi ve düzensizlik yaratır. Doğrusu, her iki perspektif de altta yatan gerçeğin bir parçasını yakalar. Yaşamın yaptığı, başka bir yerde yapı ve örgütlenmeyi sürdürebilmek için bir yerde entropi yaratmaktır. Maxwell'in şeytanının verdiği ders budur.

Bunun ne anlama gelebileceğini inceleyelim. İkinci Bölümde İkinci Yasadan söz ettiğimizde, "yararlı" ve "yararsız" enerjiyi ayırt etmiştik: Yararlı enerji bir tür işe dönüştürülebilirken, yararsız enerji bir işe yaramaz. Josiah Willard Gibbs'in katkılarından biri, "serbest enerji" kavramını geliştirerek bu kavramları formüle etmekti. Schrödinger konferanslarında bu terimi kullanmamıştı çünkü yan anlamlar kafa karıştırıcıydı: enerji, yoktan var etmediğiniz için, gerçekte "serbest (bedava, *bkz.* önceki dipnot)" değildi; belli bir amaç için kullanılabileceği anlamıyla "serbesttir.[18] (Serbest [bedava] yazılım gurusu Richard Stallman'ın söylemekten hoşlandığı gibi, "Serbest [bedava]" söz düşünün, "bedava [serbest]" bira değil.) Gibbs entropi kavramını toplam enerji miktarını "serbest" olarak adlandırdığı yararlı parçasıyla yararsız parçası olarak temiz bir şekilde ikiye bölmek için kullanabileceğini fark etti:[19]

toplam enerji = serbest enerji + yararsız (yüksek entropili) enerji

[18] Modern zamanlarda daha da endişelenebilirdi; Google'da bir "serbest enerji" (*free energy*) araması yaptırdığınızda, birçok devridaim makinesi projesinin yanı sıra temiz enerji konulu bazı kaynaklara ulaşırsınız.
Formal olmayan şekilde konuşulduğunda, "yararlı" ve "yararsız" enerji kavramları Gibbs'den öncesine aittir; onun katkısı bu fikre özgül formüller iliştirmek oldu ki bunlar daha sonra Alman fizikçi Hermann von Helmholtz tarafından geliştirildiler. Özellikle, "yararsız" enerji olarak adlandırdığımız enerji (Helmholtz'un formülasyonunda) sadece cismin sıcaklığıyla entropisinin çarpımıydı. Serbest enerji o zaman cismin toplam iç enerjisinden bu miktarın çıkartılmasıyla elde edilendir.

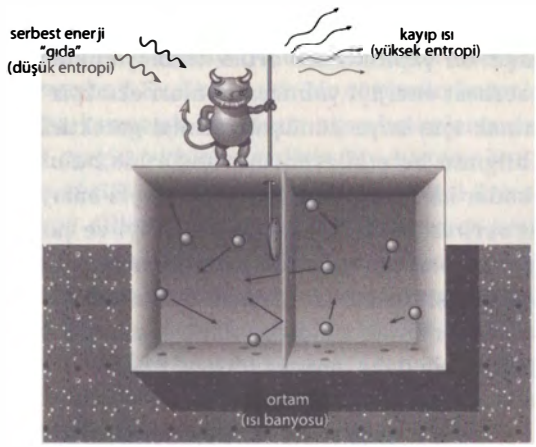
Fiziksel bir süreç sabit bir enerji miktarına sahip bir sistemde entropi yaratınca, serbest enerji kullanır; tüm serbest enerji tükendiğinde, dengeye ulaşırız.

Bu canlı organizmaları ne yaptığını düşünmenin bir yoludur: serbest enerjiden yararlanıp onu yararsız enerjiye indirgeyerek, (kendi gövdeleri de dahil olmak üzere) yerel çevrelerinde düzeni sürdürürler. İçinde başka bir şey bulunmayan boş bir su kabına bir Japon balığı koyarsak, (çevresiyle dengede olmaktan çok uzak olan) yapısını bir buz küpünün yapabildiğinden çok daha uzun bir süre sürdürebilir; ama eninde sonunda açlıktan ölecektir. Ama Japon balığını *beslersek*, bundan da çok daha uzun bir süre dayanabilir. Fiziksel bakış açısından, gıda yalnızca bir serbest enerji kaynağıdır, canlı bir organizma da kendi metabolizmasını çalıştırabilmek için bundan yararlanır.

Bu perspektiften, Maxwell'in şeytanı (gaz kutusuyla birlikte) yaşamın nasıl işlediği konusunda aydınlatıcı bir paradigma görevi görür. Şeytan öyküsünün biraz daha gelişmiş bir sürümünü düşünün. Bölünmüş gaz kutusunu alalım ve bunu sabit sıcaklıkta rastgele geniş bir malzeme toplamından oluşan bir "ortam" –fizikçiler buna "ısı banyosu" adını verir– içine gömelim. (Maksat şu, ortam o kadar büyük olacak ki, sıcaklığı bizim ilgilendiğimiz küçük sistem, yani örneğimizdeki gaz kutusu ile olacak etkileşimi tarafından etkilenmeyecek.) Her ne kadar gaz molekülleri kutunun duvarlarının içinde kalacaklarsa da termal enerji içeri ya da dışarı geçebilir; dolayısıyla Şeytan başarılı bir şekilde gazı bir soğuk yarı bir de sıcak yarı olarak ayırmayı başarsa da, sıcaklık çevredeki ortamla olan etkileşimi nedeniyle derhal dengelenmeye başlayacaktır.

Şeytanın gerçekten de kendi kutusunu dengenin uzağında tutmaya çalışacağını tasavvur edebiliriz – kutunun sol yanını yüksek sıcaklıkta, sağ yanını da düşük sıcaklıkta tutmak için elinden geleni yapacaktır. (Dikkat ederseniz, şeytanı kötü adam değil, bir başrol oyuncusuna dönüştürdük.) Bu yüzden geleneksel molekülleri hızlarına göre ayırma işini yapacaktır, yalnız şimdi artık bunu sürekli yapmak zorundadır, yoksa her yan çevresiyle dengelenecektir. Önceki tartışmamıza göre, şeytan ayırma işini dış dünyayı etkilemeden gerçekleştiremez; kayıtları silme süreci kaçınılmaz bir şekilde entropi üretecektir. Yani şeytanın gerek duyduğu, sürekli bir serbest enerji kaynağıdır. Serbest enerjiyi ("gıda") içeri

alacak, sonra bu serbest enerjiden yararlanarak kayıtları silecek ve bu süreç zarfında entropi üretip enerjiyi yararsızlığa indirgeyecektir; yararsız enerji daha sonra ısı (ya da her neyse) olarak atılacaktır. Yeni silinmiş tabletiyle, şeytan gaz kutusunu mutlu mesut dengeden uzak tutmaya hazırdır, en azından tabletini bir kez daha doldurana kadar, sonrasında da çevrim kendi kendisini tekrarlayacaktır.



Şekil 51: Yaşam için bir paradigma olarak Maxwell'in şeytanı. Şeytan çevrenin etkisine karşın, serbest enerjinin yüksek entropili ısıya dönüştürülmesi aracılığıyla bilgiyi işleyerek düzeni, yani sıcaklıkların ayrılığını korur.

Bu hoş anekdot belli ki "yaşam" fikriyle anlatmak istediğimiz her şeyi içermeyi başaramıyor, ama büyük resmin özlü bir kısmını yakalamayı başarıyor. Yaşam İkinci Yasanın talepleri karşısında, bu organizmanın kendi bedeni, ruh hali ya da Ozymandias'ın* işleri olsun, düzeni korumaya çalışır. Ve bunu belli bir şekilde yapar: kendisini termal dengenin dışında tutma davası uğruna, dış dünyadaki serbest enerjiyi indirgeyerek. Ve bu da görmüş olduğumuz gibi, bilgi işlenmesiyle yakından ilişkili bir işlemdir. Şeytan

İngiliz şair Shelley'nin ünlü şiiri. Kibrin ve gücün beyhudeliğini anlatır. Özetle, uçsuz bucaksız uzanan Mısır çöllerinde yıkık anıtlar ve heykeller bulan bir gezgin, kafası kopmuş büyük bir heykelin kaidesinde şu sözleri okur: "Benim adım Ozymandias, kralların kralı, bak işlerime ey Yüce ve umudunu kes" –çn.

görevini serbest enerjiyi kutudaki moleküller üzerine bilgiye dönüştürerek yerine getirir, bu da o zaman kutudaki sıcaklığın dengelenmesini engellemekte kullanılır. Çok temel bir düzeyde, yaşamın amacı hayatta kalmakla özetlenebilir – organizma kendi karmaşık yapısının düzgün çalışmasını korumaya çalışır.[20] Serbest enerji ve bilgi bunu gerçekleştirmenin anahtarlarıdır.

Doğal seçilimin bakış açısından, karmaşık, kalıcı bir yapının uyumlu bir şekilde kayırılıyor olmasının birçok nedeni olabilir: örneğin göz, bir organizmanın sağlamlığına açıkça katkıda bulunan karmaşık bir yapıdır. Ama artan karmaşıklıkta yapılar, artan miktarda serbest enerjiyi yalnızca bunları eksiksiz ve çalışır durumda tutmak için ısıya dönüştürmemizi gerektirir. Dolayısıyla enerji ile bilginin bu etkileşimi bir öngörüde bulunur: bir organizma ne kadar karmaşık olursa, "iş" amacıyla enerjiyi kullanmada o kadar *verimsiz* hale gelir – makineyi iyi ve çalışır durumda tutmak için "bakım" amaçlarıyla karşılaştırıldığında, koşmak ve zıplamak gibi basit mekanik işlemler. Gerçekten de bu doğrudur; gerçek biyolojik organizmalarda, daha karmaşık olanlar enerji kullanımlarında da daha verimsizdirler.[21]

KARMAŞIKLIK VE ZAMAN

Entropi, bilgi, yaşam ve zaman okunun arayüzünde burada ele alma şansı bulamayacağımız birçok ilginç konu vardır: yaşlanma, evrim, ahlak, düşünme, bilinç, toplumsal yapılar ve sayısız başkaları. Bunların hepsiyle yüzleşmek bunu çok daha farklı bir kitap haline getirir, bizim birincil hedefimiz başka yerdedir. Ama geleneksel istatistiksel mekaniğin görece sağlam zeminine dönmeden önce, bu bölümü bir spekülatif düşünceyle kapatabiliriz, umuyoruz ki yakın gelecekteki yeni araştırmalarla aydınlanacak türden bir düşünce.

---

[20] Claude Shannon 1950'lerde, Marvin Minsky'nin bir fikrine dayanan "Nihai Makine"yi inşa etti. Durağan durumunda, makine bir yüzünde tek bir anahtarı olan bir kutuya benziyordu. Anahtarı çevirdiğinizde, kutu yüksek perdeden vınlıyordu. Sonra kutunun kapağı açılıyor, dışarıya bir el uzanıp anahtarı ilk haline getiriyor, sonra da geri çekiliyor ve kutu yeniden sessizliğe gömülüyordu. Buradan çıkartılabilecek bir ders şudur: Kalıcılık kendi başına iyi bir şey olabilir.

Özellikle –genellikle daha fazla hareketli parçaları olan ve bu doğrultuda daha karmaşık olan– daha kütleli organizmalar, daha az kütleli olanlara göre daha yüksek tempoda serbest enerji tüketir. Örneğin *bkz.* Chaisson (2001).

Evren evrilirken, entropi yükselir. Bu çok basit bir ilişkidir: ilk zamanlarda, Büyük Patlama yakınlarında, entropi çok düşüktü, o zamandan beri yükseliyor ve gelecekte de yükselmeyi sürdürecek. Ama entropinin dışında, zamanın herhangi bir anında evrenin durumunu da (en azından kabaca) *karmaşıklığı* ya da karmaşıklığın tersi olan basitliği terimleriyle nitelendirebiliriz. Karmaşıklığın zaman içindeki evrimi hiç de o kadar açık değildir.

Fiziksel bir durumun karmaşıklığını nicelendirmek için tasavvur edebileceğimiz birçok farklı yol vardır, ama geniş kabul görmüş, *Kolmogorov karmaşıklığı* ya da *algoritmik karmaşıklık* denilen bir ölçü vardır.[22] Bu fikir, basit bir çözümün betimlemesinin de kolay olduğu, karmaşık bir durumuysa betimlemenin zor olacağı yolundaki sezgimizi biçimlendirir. Bir durumu betimlemede karşılaştığımız güçlük, bu durumun betimlemesini üretecek (belli bir programlama dilindeki) olası en kısa bilgisayar programının belirtilmesiyle nicelendirilebilir. Kolmogorov karmaşıklığı da işte tam olarak bu olası en kısa bilgisayar programının uzunluğudur.

Her ikisi de birer milyon haneden oluşan iki sayı dizisi düşünün. Bir dizi yalnızca her haneye 8 rakamı konarak oluşturuluyor, diğeriyse belirlenebilecek herhangi bir sıralamaya uymayan belli bir rakam dizisinden oluşuyor:

88888888888888888888 . . .
60462491123396078395 . . .

Bunlardan birincisi basit – düşük bir Kolmogorov karmaşıklığına sahip. Çünkü sadece "8 sayısını bir milyon kere bas" diyen bir program tarafından üretilebilir. Ama ikinci dizi karmaşık. Bunu basacak herhangi bir programın en azından bir milyon karakter uzunluğunda olması gerekir, çünkü bu diziyi betimlemenin tek yolu, her haneyi tek tek belirtmektir. Bu tanım pi ya da ikinin karekökü gibi sayıları düşündüğümüzde yararlı olur – her ikisi de yüzeysel olarak karmaşıktır, ama aslında her ikisi için de istediğiniz herhangi bir hassasiyetle bu sayıları hesaplayacak kısa birer program yazılabilir, dolayısıyla Kolmogorov karmaşıklıkları hayli düşüktür.

[22] Bu ve başka nicel karmaşıklık ölçülerinin hepsi Andrey Kolmogorov, Ray Solomonoff ve Gregory Chaitlin'in çalışmalarıyla ilişkilidir. Bu konuda bir tartışma için, örneğin *bkz.* Gell-Mann (1994).

Erken evrenin karmaşıklığı düşüktür, çünkü betimlemesi çok kolaydır. Parçacıkların sıcak, yoğun bir haliydi, büyük ölçeklerde düzenliydi, belli bir hızda, yer yer (belirlemesi hayli basit) yoğunlukta minik tedirgeme (perturbasyon) kümeleriyle genişliyordu. İri tanecikli bir perspektiften, erken evrenin tüm betimlemesi buydu; söylenecek başka bir şey yoktu. Uzak gelecekte, evrenin karmaşıklığı yine çok düşük olacaktır: sadece giderek seyrelen bir parçacık bulamacı içeren uzay boşluğundan oluşacaktır. Ama arada –şimdiki gibi– işler aşırı karmaşık görünür. Bırakın Yerküremizdeki ekosistem gibi çok daha küçük ölçekte süregiden tüm o ilginç şeyleri, iri taneciklendirme sonrası gaz, toz, yıldızlar, galaksiler ve kümeler tarafından betimlenen hiyerarşik yapıları ifade etmenin bile basit bir yolu yoktur.

Bu yüzden evrenin entropisi zaman içinde açık bir şekilde düşükten yükseğe doğru yükselirken, karmaşıklık daha ilginçtir: düşükten görece yükseğe çıkar sonra tekrar düşer. Soru da şudur: Neden? Ya da belki: Bu tür bir evrimin dallanmaları nedir? Sormayı düşünebileceğimiz bir dolu soru var. Hangi genel koşullar altında karmaşıklık yükselme sonra da alçalma eğilimi gösteriyor? Böylesi bir davranış kaçınılmaz olarak entropinin düşükten yükseğe evrilmesine eşlik mi ediyor yoksa altta yatan dinamiklerin başka özellikleri de gerekli mi? Karmaşıklığın (ya da "yaşamın") ortaya çıkması entropi gradyentlerinin (eğimlerinin) genel bir özelliği midir? Erken evrenimizin hem basit hem de düşük entropili olduğu olgusunun anlamı nedir? Evren basit, yüksek entropili geleceğe doğru gevşerken, yaşam daha ne kadar sürebilir?[23]

Bilim zor soruların yanıtlanmasına dairdir, ama aynı zamanda sorulacak doğru soruları belirlemeye de dairdir. Yaşamı anlamaya gelince, doğru soruların ne olduğunu bile bilmiyoruz. Elimizde, nihai anlayışta bir çeşit rol oynayacağından hayli emin olduğumuz bir dizi düşündürücü kavram var – entropi, serbest enerji, karmaşıklık, bilgi. Ama henüz bunları birleşik bir resim oluşturmak üzere bir araya getiremiyoruz. Sorun yok, bilim oraya gitmenin, kuşkusuz eğlencenin büyük bölümünü oluşturduğu bir yolculuk.

[23] Özellikle bu soru üzerine bazı düşünceler için, *bkz.* Dyson (1979) ya da Adams ve Laughlin (1999).

10
YİNELENEN KABUSLAR

Doğa büyük bir hayal edilemeyecek felaketler dizisidir
—Slavoj ŽiŽek

1882'de yazılan *Die fröhliche Wissenschaft** içinde, Friedrich Nietzsche bir düşünce deneyi önerir. Evrende olan her şeyin, en ince ayrıntısına kadar yaşamlarımız da dahil olmak üzere eninde sonunda ebediyete kadar sürecek çevrimler durumunda yineleneceği bir senaryo tasavvur etmemizi ister.

> Günün ya da gecenin birinde, bir şeytan en yalnız yalnızlığınıza dalıp size dese ki: "Şimdi yaşamakta ve yaşamış olduğun bu yaşamı bir kez daha ve sayısız defalar üst üste yaşayacaksın; ve içinde yeni hiçbir şey olmayacak, her acı, her neşe, her düşünce, her görüntü, yaşamındaki lafı edilemeyecek kadar küçük ya da büyük her şey sana geri dönecek, hepsi aynı silsile ve çevrim içinde – bu örümcek, ağaçların arasından görünen şu ay ışığı, hatta bu an ve ben. Varoluşun ebedi kum saati arka arkaya çevrilecek, sen de birlikte, seni kum tanesi!"[1]

Nietzsche'nin ebediyen yinelenen bir evrene olan ilgisi esas olarak etikti. Şunu sormak istiyordu: Yaşamınızın sonsuz kez yineleneceğini bilseniz ne hissederdiniz? Bu korkunç olasılık karşısında korku mu duyardınız –dişlerinizi gıcırdatmaktan söz edilir– yoksa sevinç mi? Nietzsche başarılı bir yaşamın sonsuz bir çevrimde yinelenmesinden gurur duyacağınız bir yaşam olacağını hissediyordu.[2]

---

* F. Nietzsche, *Şen Bilim*, Türkçede birkaç çevirisi mevcuttur –çn.

Nietzsche (2001), 194. Nedir tüm bu şeytanlar? Laplace'ın şeytanı, Maxwell'in şeytanı ve Nietzsche'nin şeytanının arasında, bu bir bilim kitabından ziyade Dante'nin *Cehennem*'ine benzemeye başladı.

Her çevrim bir önceki çevrimin kusursuz bir kopyası olacaksa, önceki su-

Çevrimsel evren ya da "ebedi geri dönüş" fikri hiç de Nietzsche'ye özgü değildir. Eski dinlerde orada burada ortaya çıkar – Yunan mitlerinde, Hinduizmde, Budizmde ve kimi Amerikan yerli kültürlerinde. Yaşamın tekerleği döner ve tarih kendi kendisini yineler.

Ama Nietzsche şeytanını hayal ettikten kısa bir süre sonra, ebedi tekrar fikri fizikte ortaya çıktı. 1890'da Henri Poincaré, yeterince beklenirse kimi fiziksel sistemlerin belli bir kuruluma mutlaka sonsuz kez döneceklerini gösteren ilginç bir matematik kuramını kanıtladı. Ernst Zermelo adında genç bir matematikçi bu sonucu ele aldı ve Boltzmann'ın, atomik hareketin altta yatan tersinir kurallarından İkinci Yasayı türettiği iddiasıyla bunun uyuşmadığını iddia etti.

1870'lerde Boltzmann Loschmidt'in "tersinirlik paradoksuyla" cebelleşmişti. Bununla karşılaştırıldığında, 1880'ler istatistiksel mekaniğin gelişimi açısından görece sakin geçiyordu – Maxwell 1879'da ölmüştü, Boltzmann da geliştirdiği formalizmin teknik uygulamalarıyla ve akademik basamakları tırmanmakla meşguldü. Ama 1890'larda, bu kez de Zermelo'nun "yinelenme paradoksu" biçiminde tartışma yeniden alevlendi. O güne kadar bu savların sonuçları henüz fizikçiler tarafından tamamen hazmedilmemişti; Boltzmann ve çağdaşlarının üzerinde tartıştığı konuların birçoğu hâlâ eşelenir. Modern kozmoloji bağlamında, yinelenme paradoksu tarafından önerilen sorunlar hâlâ geçerlidir.

POINCARÉ'NİN KAOSU

İsveç ve Norveç kralı II. Oscar 21 Ocak 1829'da doğmuştu. 1887'de, İsveçli matematikçi Gösta Mittag-Leffler kralın yaklaşan altmışıncı doğum gününü sıra dışı bir yoldan kutlamasını önermişti: bir matematik yarışmasına destek vererek. Dört farklı soru önerilmişti ve en özgün, en yaratıcı çözümü önerene bir ödül verilecekti.

Sorulardan biri "üç cisim problemiydi" – üç kütleli nesnenin karşılıklı kütleçekimsel etkileri altında nasıl hareket edecekleri.

---

rümlerden hiçbirini anımsamayacak olacağınıza (çünkü öncekinde böyle bir anınız olmayacaktı ve bu da onun kusursuz bir kopyası olacaktır) dikkat çekerim. Böyle bir senaryonun çevrimin tek bir kez yinelendiği senaryodan ne farkı olacağı belli değildir.

(İki cisim için çözüm kolaydı ve Newton bunu çözmüştü: gezegenler elips şeklinde hareket ederler.) Otuzlu yaşlarının başlarında bile dünyanın önde gelen matematikçilerinden biri olduğu kabul edilen Henri Poincaré bu problemi ele almıştı. Çözemedi, ama can alıcı bir özelliği kanıtlarmış gibi gözüken bir deneme sundu: gezegenlerin yörüngeleri *istikrarlı* olacaktı. Kesin sonuçlar bilinmeden bile gezegenlerin en azından öngörülebilir şekilde davranacaklarından emin olabilirdik. Poincaré'nin çözümü o kadar zekiceydi ki, ödül ona verildi ve makalesi de Mittag-Leffler'in yeni dergisi *Acta Mathematica*'da yayımlanmaya hazırlandı.[3]



Şekil 52: Topoloji, görelilik ve kaos kuramlarının öncüsü, sonraları da Boylam Dairesi başkanı Henri Poincaré.

Ama küçük bir sorun vardı: Poincaré bir hata yapmıştı. Derginin editörlerinden Edvard Phragmén'in makale üzerine birtakım soruları olmuştu ve bunları yanıtlarken Poincaré ispatını oluştururken önemli bir vakayı atladığını fark etti. Karmaşık matematiksel yazılarda böylesi küçük hatalar sık sık görülür ve Poincaré de sunumunu düzeltmeye koyuldu. Ama boşlukları doldurmaya çalışırken tüm sav tamamen dağıldı. Sonunda Poincaré'nin kanıtladığı, ilk iddiasının tamamen tersi oldu – üç cisimli yörüngeler hiç de istikrarlı olmuyordu. Yörüngeler dönemsel olmamakla kal-

[3] Öykü üzerine daha fazla bilgi için, *bkz.* Galison (2003). Poincaré'nin makalesi (1890).

mıyor, herhangi bir düzenli davranışın yanına bile yaklaşmıyorlardı. Şimdi simülasyonlar için elimizde bilgisayarlar olduğundan bu tür davranışlar o kadar şaşırtıcı değil, ama o zaman tam bir şok yaşanmıştı. Gezegenlerin yörüngelerinin istikrarlı olduğunu kanıtlamaya çalışırken, Poincaré tamamen farklı bir şey yapmıştı – kaos kuramını bulmuştu.

Ama öykü orada son bulmadı. Poincaré'nin ödül kazanan makalesindeki sorunları çözeceğinden emin olan Mittag-Leffler makaleyi basmıştı. Poincaré'den böyle bir düzeltmenin gelmeyeceğini duyduğunda, dergi tüm Avrupa'daki önde gelen matematikçilere gönderilmişti bile. Mittag-Leffler harekete geçti, derginin tüm nüshalarının imha edilmesi için Berlin ve Paris'e telgraflar çekti. Temelde başarılı oldu, ancak tüm kıtadaki seçkin matematikçiler çevresinde küçük bir skandalı da önleyemedi.

Savlarını gözden geçirirken, Poincaré şimdi artık *Poincaré yinelenme kuramı* olarak bilinen aldatıcı basitlikte ve güçlü bir sonuç elde etti. Tüm parçaları, Güneşin yörüngesindeki gezegenler gibi uzayın sonlu bir bölgesinde yer alan bir sisteminiz olduğunu tasavvur edin. Yinelenme kuramı, sistemin belli bir kurulumunda başlarsak ve Newton'ın yasalarına göre evrilmeye bırakırsak sistemin özgün kurulumuna döneceğini garantiler – arka arkaya, gelecekte sonsuz kez.

Bu hayli açık seçik gözükebilir, şaşırtıcı da olmayabilir. Baştan sistemimizin tüm bileşenlerinin (Güneşin yörüngesindeki gezegenler ya da bir kutunun içinde oradan oraya sekip duran moleküller) sonlu bir bölgeyle kısıtlı olduğunu kabul edersek, ama zamanın sonsuza kadar uzamasına izin verirsek, sistemin aynı duruma dönüp durması anlamlı gelir. Başka ne yapabilir ki?

Ama işler bundan biraz daha inceliklidir. En temel incelik, nesnelerin sayısı sonsuza ulaşmasa bile sonsuz sayıda olası durum olabileceğidir.[4] Dairesel bir yörünge sonlu bir bölgeyle kısıtlıdır, ama yolu boyunca sonsuz sayıda nokta vardır; benzer şekil-

[4] Başka bir incelik de sistemin başlangıç kurulumuna dönmesi garanti olsa da, olası *tüm* kurulumlara erişmesi garanti değildir. Yeteri kadar karmaşık bir sistemin olası tüm durumlardan geçeceği fikri, sistemin ergodik olduğu fikriyle eşdeğerdir ki bunu da 8. Bölüm içinde Boltzmann'ın istatistiksel mekaniğe yaklaşımını doğrulama bağlamında ele almıştık. Bu bazı sistemler için doğrudur, ama hepsi için değil, ilginç olanların hepsi için bile değil.

de, sonlu boyutlarda bir kutu gazın içinde de sonsuz sayıda nokta bulunur. Bu durumda, bir sistem tipik olarak aynı *kesin* özgün duruma dönmeyecektir. Poincaré'nin fark ettiği, bu "neredeyse"nin yeterli olmadığı bir durum olduğuydu. Aralarındaki farkı ayırt edememeniz için iki durumun ne kadar yakın olmaları gerektiğine baştan karar veriyorsanız, Poincaré sistemin özgün durumuna en azından o kadar yakına sonsuz defa döneceğini kanıtlamıştı.

Güneş sisteminin içteki üç gezegenini alın: Merkür, Venüs ve Yerküre. Venüs Güneş çevresindeki yörüngesini 0,61520 yılda bir kateder (yaklaşık 225 gün), Merkür ise yörüngesini 0,24085 yılda tamamlar (yaklaşık 88 gün). Şekil 53'te görüldüğü gibi, tüm gezegenlerin bir doğru üzerinde oldukları bir düzenlemeyle başladığımızı tasavvur edin. 88 gün geçtiğinde, Merkür başlangıç noktasına dönmüş olacaktır, ama Venüs ve Yerküre yörüngelerinin başka noktalarında olacaklardır. Ama yeterince uzun bir süre beklersek, yine bir sırada dizileceklerdir ya da yaklaşık olarak. Örneğin 40 yıl sonra, bu üç gezegen başladıklarına göre neredeyse aynı düzenlemede olacaklardır.

Poincaré tüm sınırlanmış sistemlerin, çok fazla sayıda hareketli parçası olanların bile böyle olduğunu gösterdi. Ama sistemin başlangıç noktasına dönmesi içni beklememiz gereken sürenin, parça eklendikçe arttığına dikkat edin. Gezegenlerin dokuzunun birden sıraya dizilmesini beklersek,[5] 40 yıldan çok daha fazla beklememiz gerekir; bu kısmen dış gezegenlerin yörüngelerini dolaşmalarının daha uzun sürmesinden ama büyük ölçüde de sadece daha fazla nesnenin herhangi bir başlangıç kurulumunu yeniden yaratmak için birlik olmalarının daha uzun sürecek olmasındandır.

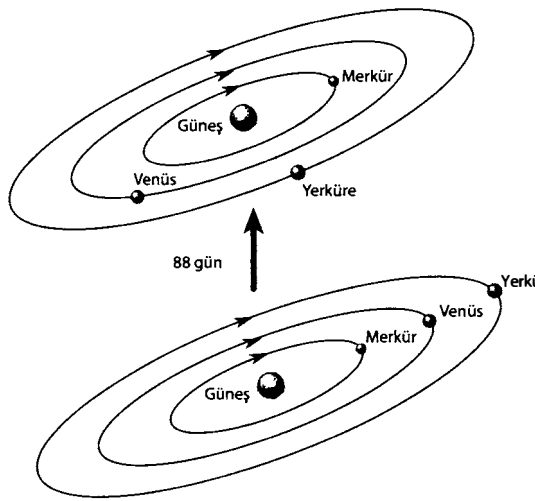
Bunu vurgulamakta yarar var: giderek daha fazla parçacık düşünürsek, sistemin başlangıç noktasının yakınına gelmesi için gereken –gayet anlaşılır biçimde *yinelenme zamanı* olarak bilinen– zaman hızla hayal edilemeyecek boyutlara yükselir.[6] 8.

---

[5] Bu benim kitabım, o yüzden Plüton da sayılıyor.

Kabaca, yinelenme zamanı sistemin en yüksek entropisinin, sistemin bir durumdan diğerine geçmesi gereken tipik zaman birimiyle üssünün alınmasıyla elde edilir. (İki halin ne zaman ayırt edilebilir olarak kabul edilebilmeye yetecek kadar farklı olacaklarının sabit bir tanımının olduğunu kabul ediyoruz.) Entropinin durumların sayısının logaritması olduğunu anımsayın, üs-

Bölüm içinde ele aldığımız, parçacıkların her saniye kutunun bir yanından diğerine atlamak için küçük bir şansa sahip olduğu bölünmüş gaz kutusunu düşünün. Açıkça, yalnızca iki ya da üç parçacık varsa, sistemin başladığı yere dönmesi uzun sürmeyecektir. Ama toplam *60* parçacık bulunan bir kutuyu ele alırsak, yinelenme zamanının gözlemlenebilir evrenin halihazırdaki yaşı olduğu ortaya çıkar.



Şekil 53: Merkür, Venüs ve Yerkürenin sıralı olduğu (alt) iç Güneş sistemi ve 88 gün sonrası (üst). Merkür eski yerine dönmüş, ama Venüs ve Yerküre yörüngelerinde bir yerlerdeler.

Gerçek nesneler genellikle 60 parçacıktan çok daha fazlasını içerirler. Mikroskobik boyutlu tipik bir nesne için, yinelenme zamanı en azından şöyle olacaktır:

$$10^{1.000.000.000.000.000.000.000.000.000}\ \text{saniye}$$

Bu uzun bir süre. Gözlemlenebilir evrendeki toplam parçacık sayısı için yinelenme zamanı daha da artacaktır – ama kimin umurunda? Herhangi bir ilginç büyüklükte nesne için yinelenme

sünü almak da logaritmayı geri çevirir; diğer bir deyişle, yinelenme zamanı sadece sistemin içinde bulunabileceği toplam olası durum sayısıdır, bu da sistemin olası her durumda aynı zamanı geçirdiği takdirde çok mantıklı.

zamanı deneyimimiz için anlamlı olan zamandan çok daha uzundur. Gözlemlenebilir evrenin yaşı yaklaşık 10^{18} saniyedir. Bir fincan kahvenin içine bir çay kaşığı süt döküp sütün ayrılması için gerekli yinelenme zamanını bekleyeceğini öne sürerek burs talebinde bulunan bir deneysel fizikçi kaynak bulmakta büyük zorluk çekecektir.

Ama yeterince beklersek, bu gerçekleşecektir. Nietzsche'nin şeytanı yanılmıyor; yalnızca uzun vadeli düşünüyor.

BOLTZMANN'A KARŞI ZERMELO

Poincaré'nin yinelenme kuramını kanıtladığı özgün makalesi esas olarak Newton mekaniğinin keskin, öngörülebilir dünyasıyla ilgileniyordu. Ama istatistiksel mekaniğe de aşinaydı ve kısa sürede ebedi yinelenme fikrinin, ilk bakışta, Termodinamiğin İkinci Yasasını türetme girişimleriyle uyumsuz olacağını fark etti. Ne de olsa, İkinci Yasa entropinin yalnızca tek yönde ilerleyeceğini söylüyor: yükselir. Ama yinelenme kuramı, düşük entropili bir durum daha yüksek entropili bir duruma doğru evriliyorsa, tek yapmamız gerekenin yeteri kadar beklemek olduğunu, sistemin sonunda düşük entropili duruma geri döneceğini ima eder gibidir. Bu entropinin yolunun bir yerlerinde düşmesi gerektiği anlamına gelir.

1893'te, Poincaré bu görünürdeki çelişkiyi daha yakından inceleyen kısa bir makale yazdı. Yinelenme kuramının evrenin entropisinin eninde sonunda düşmeye başlayacağını ima ettiğine dikkat çeker:

İngiliz kinetik kuramlarının kendilerini bu çelişkiden kurtarabilecekleri fark edildi mi bilmiyorum. Onlara göre, dünya önce uzun bir süre görünürde değişmez bir duruma doğru gider; bu da deneyimle tutarlıdır; ama yukarıda anılan kuram çiğnenmezse, ebediyen böyle kalmaz; yalnızca muazzam uzun bir süre, moleküller ne kadar fazlaysa o kadar daha uzun bir süre böyle kalır. Bu durum evrenin nihai ölümü değildir, yalnızca milyon kere milyon yüzyıl sonunda uyanacağı bir tür uyuklamadır. Bu kurama göre, ısının soğuk bir cisimden sıcak olana geçtiğini görmek için Maxwell'in şeytanının keskin görüşüne, zekâsına ve maharetine sahip olmak gerekmez; biraz sabrınızın olması yeterlidir.[7]

[7] Poincaré (1893).

"İngiliz kinetik kuramları" derken Poincaré muhtemelen Maxwell, Thomson ve diğerlerinin çalışmalarını düşünüyordu – Boltzmann'dan (ya da Gibbs'den) söz edilmiyordu. Ya bu nedenle ya da belki de makaleyi görmemiş olduğundan, Boltzmann Poincaré'ye doğrudan bir yanıt vermedi.

Ama fikir o kadar da kolay geçiştirilmeyecekti. 1896'da Zermelo Poincaré'ninkine benzer bir savlamada bulundu (Poincaré'nin yinelenme kuramını ifade eden uzun 1890 makalesine atıfta bulunuyor, ama daha kısa 1893 makalesinden söz etmiyordu), bu şimdi artık "Zermelo'nun yinelenme itirazı"[8] olarak anılıyor. Boltzmann'ın ağırlığına rağmen, atom kuramı ve istatistiksel mekanik on dokuzuncu yüzyılın sonlarının Almanca konuşulan dünyasında henüz hiç de İngilizce konuşulan dünyada olduğu kadar yaygın bir kabul görmüyordu. Birçok Alman bilim insanı gibi, Zermelo da İkinci Yasanın doğanın mutlak bir kuralı olduğunu düşünüyordu; kapalı bir sistemin entropisi yalnızca çoğunlukla değil, *hep* artacak ya da sabit kalacaktı. Ama yinelenme kuramı açıkça entropi başta yükselirse de günün birinde sistem başlangıç kurulumuna döndüğünde düşeceğini ima ediyordu. Zermelo'nun çıkarttığı ders, istatistiksel mekaniğin yapısının düpedüz yanlış olduğuydu; ısı ve entropinin davranışları Newton'ın yasalarına uyan moleküllerin hareketlerine indirgenemezdi.

Zermelo sonraları, matematikte küme kuramının kurucularından biri olarak ünlenecekti, ama o sıralarda Max Planck'ın gözetiminde bir öğrenciydi ve Boltzmann genç ukalanın itirazlarını pek de ciddiye almadı. Yanıt vermeye tenezzül etti, ama pek de müsamaha göstererek değil.

Zermelo'nun makalesi yazdıklarımın yanlış anlaşıldığını gösteriyor; yine de bu hoşuma gitti, çünkü bu, o yazıların Almanya'da dikkate alınmış olduğunun ilk işareti gibi gözüküyor. Zermelo'nun makalesinin başında açıkladığı Poincaré'nin kuramı belli ki doğrudur, ama onun bunu ısı kuramına uygulaması yanlıştır.[9]

Çat! Zermelo Boltzmann'a yanıt olarak başka bir makale yazdı, o da buna yanıt verdi.[10] Ama birinin söylediği diğerinin bir kulağından girip diğer kulağından çıkıyordu ve tatminkâr bir sonuca ulaşılamamış gibiydi.

---

[8] Zermelo (1896a).

[9] Boltzmann (1896).

[10] Zermelo (1896b); Boltzmann (1897).

O noktada, Boltzmann'ın İkinci Yasanın mutlak değil istatistiksel doğada olduğu fikriyle bir sorunu yoktu. Zermelo'ya verdiği yanıtın itici gücü, kuram ile uygulama arasında bir ayrım gözetilmesiydi. Kuramsal olarak tüm evren düşük entropili bir durumda başlayabilir, termal dengeye doğru evrilir sonrasında da geriye, düşük entropiye doğru evrilebilirdi; Poincaré'nin kuramı bunu ima ediyordu ve Boltzmann da bunu reddetmiyordu. Ama bunun için beklemeniz gereken süre muazzamdı, bizim "evrenin yaşı" olarak düşündüğümüzden çok fazla ve on dokuzuncu yüzyıl bilim insanları tarafından düşünülen zaman ölçeklerinden kesinlikle çok daha fazlaydı. Boltzmann yinelenme kuramının sonuçlarını dikkate değer bir matematiksel ilginçlik olduğunu ama gerçek dünyayla hiçbir şekilde ilgili olmadığını kabul etmemizi öneriyordu.

EBEDİ BİR EVRENİN SIKINTILARI

Sekizinci Bölümde Boltzmann'ın *H*-Kuramına Loschmidt'in tersinirlik itirazını tartışmıştık: Tersinmez bir sonuç türetmek için fiziğin tersinir yasalarını kullanmak olanaksızdır. Diğer bir deyişle, entropisi yükselecek düşük entropili durum kadar entropisi düşecek yüksek entropili durum vardır, çünkü baştaki güzergâhlar sondakilerin zaman-tersinmişleridir. (Ve hiçbiri de yüksek entropili olarak kalan yüksek entropili durumların sayısına yaklaşamaz.) Bu itiraza verilecek doğru yanıt, en azından gözlemlenebilir evrenimizde, bir Geçmiş Varsayımını kabul etme gerekliliğidir – doğanın dinamik yasalarının ötesinde ve üzerinde, erken evrenin aşırı düşük bir entropiye sahip olduğunu söyleyen ek bir önerme.

Doğrusu, Zermelo'yla olan tartışmalarına gelindiğinde, Boltzmann bunun farkına varmıştı. Geçmiş Varsayımının kendi sürümünü "kabul *A*" olarak adlandırmıştı ve bu konuda şunu söylüyordu:

> İkinci yasa mekanik olarak (şüphesiz ki kanıtlanamayacak olan) kabul *A* aracılığıyla açıklanabilir, yani mekanik bir sistem olduğu farz edilen evren –ya da en azından bizi çevreleyen çok büyük bir bölümü– olasılığı çok düşük bir durumda başlamıştır ve hâlâ olasılığı çok düşük bir durumdadır.[11]

[11] Boltzmann (1897).

Bu kısa alıntı Boltzmann'ı aslında olduğundan çok daha kararlı gösterir; bu makale bağlamında, çevremizdeki entropinin yükseldiğini görüyor olmamızı açıklayacak birçok farklı yol önerir ve bu da bunlardan yalnızca biridir. Ama ne kadar dikkatli olduğuna dikkat edin – yalnızca daha baştan kabulün kanıtlanamaz olduğunu itiraf etmesinin yanında, bir de bunu [evrenin] bizi çevreleyen çok büyük bir bölümüyle kısıtlar, hepsiyle değil.

Ne yazık ki bu strateji yeterli değildir. Zermelo'nun yinelenme itirazı tersinirlik itirazıyla yakından ilişkilidir ama arada önemli bir fark vardır. Tersinirlik itirazı yalnızca entropisi yükselen evrimle aynı sayıda entropisi düşen evrim olduğuna dikkat çeker; yinelenme itirazıysa entropisi düşen süreçlerin *eninde sonunda gelecekte bir zaman gerçekleşeceğini* belirtir. Söz konusu olan bir sistemin entropisinin düşebileceği değildir – yeteri kadar beklersek, sonunda kesinlikle düşeceğidir. Bu güçlü bir ifadedir ve daha iyi bir karşılık gerektirir.

Yinelenmenin doğurduğu sorunlardan kurtulmak için Geçmiş Varsayımına dayanamayız. Diyelim ki yakın geçmişteki bir anda –belki milyarlarca yıl önce, ama bir yinelenme zamanına göre çok yakın– evren kendisini aşırı düşük entropili bir durumda buldu. Sonrasında, Boltzmann'ın bize gösterdiği gibi, entropi artacak ve bunun gerçekleşmesi için gereken zaman bir yinelenme zamanından çok daha kısa olacaktır. Ama evren gerçekten ebediyen sürecekse, bunun bir önemi olmamalı. Eninde sonunda, buna tanıklık etmek üzere biz ortalıkta olmasak bile entropi yeniden düşecektir. O zaman soru şudur: Neden kendimizi evrenin tarihinin düşük entropili durumunun hemen sonrasındaki belli bir parçasında yaşar buluyoruz? Neden evrenin tarihinin daha "doğal" bir zamanında yaşamıyoruz?

Bu son sorudaki bir şeyler, özellikle de *doğal* sözcüğünün ortaya çıkması, Pandora'nın kutusunu açar. Temel sorun, Newton fiziğine göre, evrenin bir "başı" ya da bir "sonu" olmamasıdır. Bizim yirmi birinci yüzyıl Einstein-sonrası perspektifimizden, evrenin Büyük Patlamayla başlamış olması fikri aşinadır. Ama Boltzmann ve Zermelo ile çağdaşları genel görelilik ya da evrenin genişlemesi konusunda bilgi sahibi değillerdi. Onlar açısından, uzay ve zaman mutlaktı ve evren ebediyen sürecekti. Bu sıkıcı soruları Büyük Patlama halısının altına süpürme seçeneği onlar için mevcut değildi.

Bu bir sorundur. Evren gerçekten de ebediyen sürecekse ve ne bir başlangıcı ne de bir sonu varsa, Geçmiş Varsayımı ne anlama gelirdi ki? Günümüzün öncesinde, entropinin küçük olduğu bir an vardı. Ama ya daha öncesi? Entropinin yükselmesine neden olacak bir geçiş gerçekleşene kadar –belirsiz uzunlukta bir zaman boyunca– hep küçük müydü? Yoksa bu anın öncesinde entropi daha mı yüksekti ve öyleyse, evrenin tarihinin ortasında, neden düşük entropili özel bir an vardı? Tıkanmış gibiyiz: evren ebediyen sürecekse ve yinelenme kuramının altında yatan kabuller geçerliyse, entropi ebediyen yükselemez; yükselecek, eninde sonunda düşecek ve sonsuz bir çevrimde devam edecektir.

Bu açmazdan çıkmanın en azından üç yolu vardır ve Boltzmann her üçüne de değinmiştir.[12] (Haklı olduğuna inanıyordu ama neden olduğu konusunda sürekli fikir değiştiriyordu.)

Birincisi evrenin gerçekten de bir başlangıcı olabilirdi ve bu başlangıç da düşük entropili bir sınır koşuluna sahipti. Boltzmann yukarıda ele alınan "kabul A" bağlamında zımnen bunu tasavvur etmiş olmalıydı, ama bunu pek de açıkça telaffuz etmemişti. Ama o zamanlar zamanın bir başlangıcının olduğunu iddia etmek gerçekten dramatik olurdu, çünkü bu Newton'ın yerleştirdiği şekliyle temel fizik yasalarından bir sapma gerektiriyordu. Bu günlerde biz, genel görelilik ve Büyük Patlama biçiminde böyle bir sapmanın içindeyiz, ama 1890'larda bu fikirler masada değildi. Bildiğim kadarıyla, o zamanlar hiç kimse evrenin başlangıcında entropinin düşük olması sorununu, açıkça zamanın bir başlangıcı olduğunu ve Büyük Patlama gibi bir şeyin olmuş olabileceğini önerecek kadar ciddiye almıyordu.

İkincisi, Poincaré'nin kuramının arkasındaki kabuller gerçek dünyada geçerli olmayabilirdi. Özellikle, Poincaré'nin durum uzayının bir şekilde sınırlı olduğunu ve parçacıkların sonsuzluğa kadar dolaşamayacaklarını kabul etmek zorunda kalmıştı. Bu teknik bir kabul gibi gözükür, ama derin gerçekler teknik kabul kılığında gizlenmiş olabilir. Boltzmann da bunu olası bir boşluk olarak görüyordu:

[12] "En azından" üç yol, çünkü insanın hayal gücü çok keskindir. Ama o kadar da çok olasılık yoktur. Başka biri de altta yatan fizik yasalarının aslında tersinmez olmasıdır.

> Başlangıçta moleküllerin sayısı sonsuza eşit olarak belirlenirse ve hareketin zamanının çok büyük olmasına izin verilirse, o zaman durumların çok büyük çoğunluğunda [zamanın fonksiyonu olarak entropi için] asimptotik olarak apsis eksenine yaklaşan bir eğri elde edilir. Poincaré kuramı kolaylıkla görülebileceği gibi bu durumda uygulanamaz.[13]

Ama aslında bu seçeneği çok da ciddiye almaz. İyi de olmuştur, çünkü bu yinelenme kuramının katı sonuçlarını savuşturur, ama altta yatan ruhu değil. Uzaydaki parçacıkların ortalama yoğunluğu sıfır dışında bir sayıysa, yine de düşük entropili durumlar da içinde olmak üzere her türden olası olmayan dalgalanma görebilirsiniz; ama dalgalanmalar genellikle her seferinde farklı parçacık kümelerinde oluşacağı için, "yinelenme" tam anlamıyla gerçekleşmiş olmaz. Bu senaryoda gerçekten yinelenen bir sistemin tüm sorunlarını görürüz.

Yinelenme itirazını savuşturmanın üçüncü yolu aslında bir yol değildir – koşulsuz teslim olmaktır. Evrenin ebedi olduğunu ve yinelenmenin de gerçekleştiğini böylece evrenin hem entropinin yükseldiği hem de düştüğü anlar yaşadığını kabul edin. Sonra da şöyle deyin: İşte bu içinde yaşadığımız evren.

Bu üç olasılığı modern düşünce bağlamına sokalım. Birçok günümüz kozmoloğu, genellikle zımnen, birinci seçeneği destekler – düşük entropili başlangıç koşullarımızı Büyük Patlama bilmecesiyle birleştirir. Bu uygulanabilir bir olasılıktır, ama bir şekilde tatminkâr değilmiş gibidir, çünkü evrenin erken safhalardaki durumunu fizik yasalarının üzerinde ve ötesinde belirlememizi gerektirir. İkinci seçenek, evrende sonsuz sayıda şey bulunduğu ve yinelenme kuramının uygulanamayacağı, bizi kuramın teknik gerekliliklerinden kurtarır ama neden evrenin şu anda içinde bulunduğu belli koşullarda olduğu konusunda pek de yardımcı olmaz. Bu yaklaşımın biraz farklı bir sürümünü, yalnızca sonlu sayıda parçacık bulunduğu, ama evrilecek sonsuz bir uzay bulunduğu seçeneğini düşünebiliriz. O zaman yinelenmeler gerçekten mevcut olmayacaktır; entropi uzak geçmişte ve uzak gelecekte sınırsız yükselecektir. Bu bir şekilde kitabın ilerleyen kısımlarında savunacağım çoklu evren senaryosunu anımsatır. Ama bildiğim kada-

[13] Boltzmann (1896).

rıyla ne Boltzmann ne de çağdaşlarından herhangi birisi böylesi bir resmi savunmuştur.

Üçüncü seçenek –yinelenmelerin gerçekten olduğu ve içinde yaşadığımız evrenin böyle bir yer olduğu– göreceğimiz gibi, gerçek olamaz. Ama bunun neden olamayacağını görerek kimi önemli dersler çıkartabiliriz.

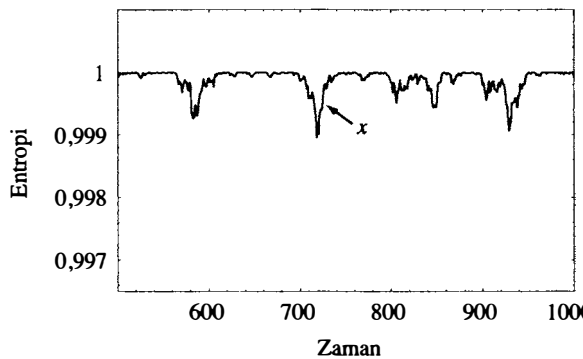
DENGE ÇEVRESİNDE DALGALANMAK

Sekizinci Bölümde ele aldığımız bölünmüş gaz kutusunu anımsayın. Kutunun iki yarısı arasında ara sıra moleküllerin geçip taraf değiştirebildiği bir bölme var. Her parçacığın bilinmeyen mikro-durumunun evrimini, her molekülün kutunun bir tarafından diğerine geçmek için küçük, sabit bir şansı olacağı şekilde modelledik. Entropinin zaman içinde nasıl evrildiğini görmek için Boltzmann'ın entropi formülünü kullanabiliriz; yükselmek üzere güçlü bir eğilime sahiptir, en azından sistemi önceden hazırlanmış, moleküllerin çoğunluğunun bir tarafta bulunduğu, düşük entropili durumda başlatırsak. Doğal eğilim durumun dengelenmesi ve her iki yanda da eşit sayıda molekülün bulunduğu bir denge durumuna ulaşılmasıdır. O zaman entropi, diyagramın düşey ekseninde "1" olarak işaretlenen en yüksek değerine çıkar.

Sistemi düşük entropili bir durumda *başlatmazsak* ne olur? Denge durumunda başlarsa ne olur? İkinci Yasa mutlaka doğruysa ve entropi hiçbir zaman düşemezse, sistem bir kez dengeye kavuştuğunda kesinlikle orada kalmalıdır. Ama Boltzmann'ın olasılıkçı dünyasında, bu tam anlamıyla doğru değil. Yüksek olasılıkla, dengedeki bir sistem dengede ya da dengeye çok yakın bir yerde kalacaktır. Ama yeteri kadar beklersek, kaçınılmaz olarak bu durumdan rastgele dalgalanmalar olacaktır. Ve çok uzun beklersek de hayli büyük dalgalanmalar görülecektir.

Şekil 54'te, 2000 parçacığın bulunduğu bir bölünmüş gaz kutusunda entropinin evrimini görüyoruz, ama bu kez daha sonraki, dengenin sağlanmış olduğu zamanlardaki evrimini. Bunun entropinin değişiminin çok büyütülmüş haliyle izlendiği bir durum olduğuna dikkat edin; Sekizinci Bölümdeki diyagramlar entropinin 0,75'ten 1'e evrimini gösterirken, bu diyagram entropinin 0,997 ile 1 arasındaki evrimini gösteriyor.

Gördüğümüz, entropinin en yükseğe çıktığı ve moleküllerin eşit dağıldığı denge değerinden sapan küçük dalgalanmalardır. Deneyi nasıl kurduğumuz düşünüldüğünde, bu çok mantıklıdır; çoğu zaman kutunun sağında ve solunda eşit sayıda molekül bulunacaktır, ama ara sıra bir yanda ya da diğerinde, daha düşük bir entropiye karşılık gelen, küçük bir fazlalık olacaktır. Bu yazı tura atmayla aynı şeydir: birçok kez para atışı yapılan bir silsilede ortalama yarısı yazı yarısı tura gelecektir, ama yeterince beklerseniz, aynı sonucun üst üste alındığı kimi silsileler de görülecektir.



Şekil 54: Dengede başlayan bölünmüş bir kutu gazın entropisinin evrimi. Durum, zamanının çoğunu en yüksek entropide geçirecektir, ama ara sıra daha düşük entropili durumlara dalgalanmalar görülecektir. Düşey eksene bakarsanız bunu çok büyüttüğümüzü göreceksiniz; genellikle dalgalanmalar çok küçük olurlar. *x* noktası görece büyük bir dalgalanmadan dengeye dönüşü işaret ediyor.

Burada görülen dalgalanmalar çok küçüktür, ama diğer yandan çok fazla beklemedik. Çok daha uzun süreler beklersek –ki burada gerçekten *çok uzun* sürelerden söz ediyoruz– entropi sonunda başlangıç konumuna, parçacıkların yüzde sekseninin bir yanda, yüzde yirmisinin diğer yanda bulunacağı bir durumda dibe vuracaktır. Bu diyagramın 2000 parçacıkla ne olduğunu gösterdiğini unutmayın; herhangi bir makroskobik nesnede çok daha fazla parçacık bulunan gerçek dünyada, entropi dalgalanmaları da buna oranla daha küçük ve daha nadir olacaktır. Ama yine de olacaklardır; entropinin olasılıkçı doğasının kaçınılmaz sonucu budur.

Yani Boltzmann'ın nihai ve dramatik önerisi şöyledir: belki de evren böyledir. Belki zaman sonsuza kadar sürer ve altta yatan fizik yasaları da Newtoncı ve tersinirdir ve belki de yinelenme kuramının altında yatan kabuller geçerlidir.[14] Dolayısıyla belki de Şekil 54'te gösterilen, entropi-zaman eğrisi gerçek evrende entropinin evrilme şeklidir.

ANTROPİK* UNSURA BAŞVURMAK

Ama –diyeceksiniz– bu doğru olamaz. Bu grafikte, entropi yükseldiği kadar iniyor da. Bu hiç de entropinin görebildiğimiz kadarıyla hep yükseldiği gerçek dünyaya benzemiyor.

Ah, diye yanıtlar Boltzmann, daha geniş bir açıdan bakmalısınız. Diyagramda gösterdiklerimiz görece kısa bir süre zarfında entropideki minik dalgalanmalardır. Evrenden söz ederken, açıktır ki entropide çok ender görülen ve toparlanması çok uzun sürecek olan muazzam bir dalgalanmadan söz ediyoruz. Evrendeki entropinin genel grafiği Şekil 54'tekine benzer bir şeydir, ama evrenin bizim yer aldığımız yerel, gözlemlenebilir parçası bu grafiğin yalnızca çok minik parçasına karşılık gelir – bir dalgalanmanın gerçekleştiği ve dengeye doğru yükseldiği *x* noktasının yakınlarına. Evrenin tüm tarihi buraya sığacaksa, yaşam süremizde gerçekten de İkinci Yasanın işlediğini görürüz, halbuki aşırı uzun zamanlar zarfında entropi yalnızca en yüksek değeri civarında dalgalanır.

Ama –dediniz, hemen teslim olmaya niyetiniz olmadığından– neden eğrinin o belli noktasında, dev bir entropi dalgalanmasının

---

[14] Yinelenme kuramının ruhunun doğru olduğunu tasavvur ediyoruz, sözcük anlamının değil. Yinelenme kuramının kanıtlanması parçacıkların hareketlerinin –belki Güneşin çevresinde kapalı yörüngelerde hareket ettiklerinden ya da belki bir gaz kutusuna kapalı moleküller olduklarından– sınırlı olmasını gerektirir. Bunların hiçbiri evrene uygulanamaz, kimsenin de bunu önerdiği yoktur. Evren sonsuz uzayda hareket eden sonlu sayıda parçacıktan oluşuyorsa, bir kısmının öylece ebediyen uzaklaşacağını bekleyebiliriz ve yinelenme gerçekleşmez. Ama sonsuz uzayda *sonsuz* sayıda parçacık varsa, sabit bir ortalama yoğunluk olabilir – (örneğin) ışık-yılı küpteki parçacık sayısı. Bu durumda burada gösterilen biçimdeki dalgalanmalar gerçekleşecektir, bu da nereden baksanız Poincaré'nin yinelenmelerine benzer.

Antropik: insancıl; insanlarla ya da yerküre üzerinde var oldukları dönemle ilgili –çn.

hemen sonrasında yaşıyoruz? Böylesi dalgalanmaların aşırı ender olduğunu kabul etmiştik. Kendimizi evrenin tarihinin daha tipik bir evresinde, her şeylerin temelde dengede göründüğü bir yerde bulmamız gerekmez miydi?

Boltzmann, şüphesiz ki, itirazınızı öngörmüştü. Ve bu noktada şaşırtıcı modernlikte bir harekette bulunur – *antropik ilkeye* başvurur. Antropik ilke temelde, çevremizdeki evrenin akla yakın bir anlatısının bizim var olduğumuz olgusunu da hesaba katması gerektiği fikridir. Yararsız düzeyde güçsüz olanından –"yaşamın var olduğu olgusu bize, fizik yasalarının yaşamın varoluşuyla uyumlu olması gerektiğini söyler"– gülünç düzeyde güçlü olanına –"fizik yasaları sahip oldukları biçimi almak durumundaydılar çünkü yaşamın varoluşu bir şekilde gerekli bir özelliktir"– çeşitli biçimlerde görülür. Antropik ilkenin statüsü üzerine tartışmalar –Yararlı mıdır? Bilimsel midir?– hayli ateşli ve nadiren çok aydınlatıcı olurlar.

Neyse ki biz (ve Boltzmann) antropik ilkenin yalnızca dengeli, orta karar bir sürümüne gerek duyuyoruz. Yani gerçek evrenin doğrudan gözlemlediğimiz kısımdan (uzayda, zamanda ya da her ikisinde de) çok daha büyük olduğunu tasavvur edin. Ayrıca bu daha büyük evrenin farklı kısımlarının çok farklı koşullarda var olduğunu da tasavvur edin. Belki madde yoğunluğu farklıdır ya da hatta farklı yerel fizik yasaları gibi dramatik bir şeyler. Her farklı bölgeyi bir "evren" diye işaretleyebiliriz, bütünü de "çoklu evren" olur. Çoklu evren içindeki farklı evrenler fiziksel olarak bağlı olabilirler de olmayabilirler de; şu anki amacımız açısından bu önemli değil. Nihayet, bu farklı bölgelerden bazılarının yaşamın varlığına uygun olduğunu, bazılarının da olmadığını tasavvur edin. (Geniş bağlamda "yaşam" üzerine bildiklerimizin ne kadar az olduğunu düşünürseniz, işin bu tarafı biraz bulanık.) Sonra –bu kısmı hayli çürütülemez durumda– biz de kendimizi hep evrenin yaşamın var olmasına olanak tanınan parçalarından birinde bulacağız, diğer yerlerinde değil. Bu tamamen boş gibi duruyor, ama değil. Bir bütün olarak evrene bakışımızı çarpıtan bir *seçme etkisini* temsil ediyor – tamamını göremiyoruz; yalnızca parçalardan birini görüyoruz ve bu parça da diğerleri hakkında örnek olmayabilir.

Boltzmann da tam olarak bu mantığa başvuruyor. Ebediyen var olan mutlak Newtoncı bir uzay-zamanda hareket eden bir

parçacıklar topluluğundan oluşan bir evren tasavvur etmemizi istiyor. Ne olacak?

> Termal dengede bulunan ve dolayısıyla ölü bir evrende, orada burada bizim galaksimiz boyutlarında (dünya olarak adlandırdığımız) görece küçük bölgeler var ve bunlar da sonsuzluğun görece kısa bir süresince termal dengeden önemli ölçüde sapıyorlar. Bu dünyalarda durum olasılığı [entropi] düştüğü kadar sıklıkla yükseliyor da. Bir bütün olarak evrende zamanın iki yönü ayırt edilemez durumdadır, tıpkı uzayda yukarı ve aşağının olmadığı gibi. Ama Yerkürenin belli bir yerinde Yerkürenin merkezine doğru olan yönü "aşağı" olarak adlandırabildiğimiz gibi, kendisini böylesi bir dünyada, belli bir zaman diliminde bulan canlı varlık da zamanın yönünü olasılığı düşük durumlardan olasılığı yüksek durumlara doğru tanımlayabilir (birincisi "geçmiş," sonraki de "gelecek" olacaktır) ve bu tanım doğrultusunda evrenin geri kalanından yalıtılmış bu bölgenin "başlangıçta" hep olmadık bir durumda olduğunu görecektir.[15]

Bu, söz dağarındaki birkaç düzeltmeyle modern kozmoloji tartışmalarında yerini bulabilecek dikkat çekici bir paragraftır. Boltzmann evrenin (ya da öyle tercih ederseniz çoklu evrenin) temelde sonsuz büyüklükte bir gaz kutusu olduğunu tasavvur ediyor. Çoğu zaman gaz uzayda sabit sıcaklıkta tekbiçimli olarak –termal dengede– dağılıyor. Durum şu ki, biz termal dengede yaşayamayız – onun lafı dolandırmadan belirttiği gibi bu "ölü" bir evrendir. Zaman zaman rastgele dalgalanmalar olacaktır ve sonunda bunlardan biri çevremizde gördüğümüze benzeyen bir evren yaratacaktır. ("Galaksimiz" der, bu o zaman için "gözlemlenebilir evren" anlamına gelir.) İşte bu ortamda, dengeden uzaklaşan rastgele dalgalanmalarda yaşayabiliriz, bu yüzden kendimizi orada bulmamız şaşırtıcı olmaz.

Şüphesiz, bir dalgalanma sırasında bile entropi yalnızca geçen zamanın yarısında yükselir, diğer yarısında dengeden geçici olarak erişeceği en düşük değere doğru düşer. Ama bu "yükselme" ve "düşme" anlamları belli bir keyfi seçilmiş zaman koordinatına

---

[15] Boltzmann (1897). Biraz daha önceki, bunu "eski asistanı Dr. Schuetz"a atfettiği bir makalesinde (1895) buna benzer bir öneride bulunmuştur. Bu atfın itibarı cömertçe paylaşmak için mi yapıldığı yoksa suçu üzerinden atmak için bir önlem mi olduğu belli değildir.

göre entropinin evrimini betimler, bu da –önceki bölümde ele aldığımız gibi– tamamen gözlemlenemezdir. Boltzmann'ın doğru bir şekilde belirttiği gibi, önemli olan halihazırdaki evrenin düşük entropili bir durumdan termal dengede olana doğru geçişin ortasında olmasıdır. Böylesi bir geçişin içinde, ortaya çıkan herhangi bir canlı düşük entropili yönü hep "geçmiş," yüksek entropili olanı da "gelecek" olarak işaretleyecektir.



Şekil 55: Boltzmann'ın "çoklu evreni." Uzay çoğunlukla dengede parçacıklar topluluğudur ama ara sıra düşük entropili durumlara doğru yerel dalgalanmalar olur. (Oransız çizilmiştir.) Biz de böylesi istisnai büyüklükte bir dalgalanmanın sonrasında yaşıyoruz.

Bu kışkırtıcı bir evren görüntüsüdür. Büyük ölçeklerde, madde hep belli bir sıcaklıkta seyrek bir gaz topluluğudur. Ama ara sıra, milyarlarca yıl zarfında, bir dizi rastgele tesadüf anormal düzeyde düşük entropi cepleri yaratmak üzere bir araya gelmiş, bunlar sonradan denge durumuna geri dönmüştür. Siz, ben ve tüm çevremizde gördüğümüz yoğun etkinlikler, çılgınca olanaksız bir duruma olan yolculuğundan geri dönen entropi dalgasında gezen gölge olaylardır (epifenomen).[16]

Peki entropideki tipik bir aşağıya doğru dalgalanma neye benzer? Yanıt, kuşkusuz, tipik bir düşük entropili durumdan yüksek entropili olana geri dönüşün tam olarak zaman tersinmiş benzeri olduğudur. Tüm evren birkaç dakika içinde ince bir parçacık ga-

[16] Boltzmann'ın akıl yürütmesinin aslında yinelenme kuramının doğrudan sonuçlarının ötesine geçtiğine dikkat edin. Can alıcı nokta herhangi bir düşük entropili başlangıç durumunun gelecekte sonsuz sıklıkta tekrarlanması –bu doğru olsa da– değil, her türden anormal düzeyde düşük entropili durumun eninde sonunda rastgele dalgalanmalar olarak ortaya çıkacak olmasıdır.

zından yoğun bir Büyük Patlama benzeri yoğunluğa geçmeyecektir; çoğunlukla milyarlarca yıla yayılmış düşük olasılıklı rastlantılar yaşayacak, bunların tümü entropiyi azar azar düşürecektir. Yıldızlar ve galaksiler tersyüz olacak, omletler yumurtaya dönüşecek, dengedeki nesneler aniden önemli sıcaklık değişiklikleri geliştirecektir. Tüm bunlar tamamen bağımsız, her biri tek tek olanaksız olaylardır ve hepsinin bileşimi muazzam ölçüde olanak dışıdır. Ama beklemek için ebediyete kadar vaktiniz varsa, en olanaksız şeyler bile sonunda olacaktır.

ANTİKİTEDE SAPMA

Kendimize biraz şiirsel izin verirsek, Boltzmann aslında bu doğrultuda düşünen ilk insan değildir. Antik Yunan ve Roma'daki öncellerinin de dertleri, Boltzmann gibi dünyayı atom terimleriyle anlamaya çalışmaktı. Demokritos (yaklaşık MÖ 400) en ünlü atomcuydu ama muhtemelen bu fikri ilk ortaya atan hocası Leukippos'tur. Onlar dünyayı, altta yatan bir "amacın" hizmetinde olmaktan ziyade, kurallara uyan nesneler terimleriyle açıklamayı uman materyalistlerdi. Özellikle, değişmenin bir yanılsama olduğunu öne süren Parmenides'in meydan okumasına yanıt vermeye istekliydiler. Boşlukta hareket eden değişmez atomlar kuramı yokluktan bir şeyleri doğduğunu tasavvur etmeden hareketi açıklamayı amaçlıyordu.

Antikitedeki atomcuların karşılarındaki bir meydan okuma, çevrelerindeki karmakarışık dünyayı açıklamaktı. İnanıyorlardı ki, atomların temel eğilimi dümdüz aşağıya düşmekti; bu pek de ilginç bir evren olmuyordu. Bu bilmeceye, "sapma" (*clinamen*) adı verilen bir fikirle çözüm önermek Yunan düşünür Epikuros'a (yaklaşık MÖ 300) düştü.[17] Esas olarak Epikuros, atomların doğrusal

[17] Epikuros faydacılığın felsefi önceli olan Epikurosçulukla bağlantılıdır. Popüler tasavvurda "Epikurosçu, özellikle yiyecek ve içki konusunda hazcılık (hedonizm) ve duyusal zevk anıştırır; bizatihi Epikuros zevki nihai iyilik olarak görüyor olsa da, onun "zevk" mefhumu "geç saatlere kadar eğlenmek" ya da "aşırı yemekten" ziyade "kucağında güzel bir kitapla oturmak" şeklindeydi. Atomcuların özgün metinlerinin çoğunluğu kaybolmuştur; özellikle Epikuros doğa üzerine otuz yedi ciltlik bir çalışma kaleme almıştır, ama tek arta kalan Diogenes Laertios'un *Ünlü Filozofların Yaşamları...* içinde tekrarlanan üç mektuptur. Felsefeye materyalist yaklaşımlarının ateist çağrışımları daha sonraki kuşaklarda her zaman popüler olmadı.

hareket etme yolundaki temel eğilimlerine ek olarak, hareketlerinde ara sıra onları bir yandan diğerine savuran rastgele bir bileşenin de olduğunu önermişti. Bu müphem bir şekilde modern kuantum mekaniğini anımsatır, ama buna kapılmamamız gerekir. (Epikuros'un kara cisim ışınımı, atomik tayf, fotoelektrik etki ya da kuantum mekaniğini sürükleyen diğer deneysel sonuçlardan haberi yoktu.) Epikuros'un sapmayı ortaya atmasının nedeni özgür iradeye yer açmaktı – temelde, o hınzır yaratık çirkin kafasını kaldırmadan çok önce Laplace'ın şeytanının sonuçlarından kurtulmak. Ama başka bir dürtü de tek tek atomların, neden doğrudan Yeryüzüne düşmektense makroskobik nesneler oluşturmak için bir araya geldiklerini açıklamaktı.

Romalı şair-filozof Lucretius (yaklaşık MÖ 50) hevesli bir atomcu ve Epikuros'un takipçisiydi; Vergilius'un şiirlerinin birincil ilham kaynağıydı. "Evrenin Yapısı" (De Rerum Natura) şiiri dikkat çekici bir çalışmadır, Epikuros'un felsefesini açıklığa kavuşturup, bunu kozmolojiden gündelik yaşama, her şeye uygulamaya çalışıyordu. Özellikle boş inançları yıkmakla ilgileniyordu; Carl Sagan'ın altı ayaklı Latince dizelerle yazdığını düşünün. "Evrenin Yapısı"nın ünlü bir kesimi, sadece atomların sonsuz hareketlerinde bir geçiş safhası olarak gördüğü ölüm korkusuna karşı öğüt verir.

Lucretius atomculuğu, özellikle de sapma fikrini, evrenin kökeni sorusuna uyguladı. İşte ne olduğu tasavvuru:

> Kuşkusuz atomlar bir araya gelip
> Her birine düzen atayıp, yer ve hareket,
> Kimin nereye gittiği gibi sorunlarla keskin zekâlarını meşgul etmediler.
> Bunun yerine birçok yoldan karılıp, karışıp sonsuz zaman
> Geçerken çarpılıp sürüklendiler,
> Her türlü hareketi ve bileşimi yaşadılar.
> Sonunda öyle bir düzenlemeye girdiler ki,
> Bu evren yaratıldı.[18]

Bunun ilk mısraları yarı hiciv havasında okunmalıdır. Lucretius atomların bir şekilde kozmosu planladıkları fikrini alaya alır;

[18] Lucretius (1995), 53.

doğrusu, kargaşa içinde karışmışlardır. Ama bu rastgele hareketler sırasında, yeterince beklersek, evrenin yaratılışına tanıklık edebiliriz.

Boltzmann'ın senaryosuyla benzerlikleri çarpıcıdır. Kuşkusuz, antik filozoflara modern bilimsel anlayış atfetmemek için dikkatli olmalıyız; bunlar çok farklı bir perspektiften kaynaklanırlar ve bugün bizim elimizdekilerden çok farklı bir ön kabuller kümesi altında çalışmışlardır. Ama Lucretius ve Boltzmann tarafından önerilen yaratılış senaryoları arasındaki paralellik rastlantının ötesindedir. Her iki durumda da görev etrafımızda gördüğümüz görünürdeki karmaşıklığın ortaya çıkışını genel bir tasarıma bağlamadan, sadece atomların özünde rastgele hareketini düşünerek açıklamaktır. Benzer bir sonuca erişmiş olmaları şaşırtıcı olmaz: gözlemlenebilir evrenimizin ebedi kozmosta rastgele bir dalgalanma olduğu fikri. Bunu evrenin kökeni için "Boltzmann-Lucretius senaryosu" olarak adlandırmak gayet adil olur.

Gerçek dünyanın böyle olması olası mıdır? Zamanının çoğunu denge durumunda geçiren, ara sıra çevremizde gördüğümüze benzer sapmalar yaşayan ebedi bir evrende yaşayabilir miyiz? Burada, Lucretius'un erişiminin olmadığı, Boltzmann ve meslektaşları tarafından geliştirilen matematiksel formalizme başvurmamız gerekir.

KIRILAN YUMURTALARI BİRLEŞTİRMEK

Boltzmann-Lucretius senaryosunun sorunu, bir evreni böyle oluşturamayacak olmanız değildir; birbirleriyle çarpışan ve arada sırada rastgele entropi düşüşlerine yol açan ebedi atomlarla Newtoncı uzay-zaman bağlamında yeterince beklerseniz, evrenimizin boy ve şeklinde bir bölge oluşacağı kesindir.

Sorun, sayıların tutmamasıdır. Kuşkusuz, bizim evrenimize benzer bir şeye dalgalanabilirsiniz – ama birçok başka şeye de dalgalanabilirsiniz. Ve başka şeyler kazanır, açık arayla.

Beynimizi evren gibi bir şeylere (ya da yalnızca galaksimize) doğru dalgalanan muazzam bir parçacıklar topluluğuyla yoracağımıza, işi basit tutalım ve iş başındaki entropi için en gözde örneklerimizden birini düşünelim. Tek bir yumurta. Kırılmamış bir yumurta hayli düzenlidir ve çok düşük bir entropisi vardır; yu-

murtayı kırarsak entropisi yükselir, sarısı ile akını karıştırırsak, daha da yükselir. En yüksek entropi durumu tek tek moleküllerden oluşan bir çorbadır; kurulumun ayrıntıları sıcaklığa, kütleçekim alanının varlığına ve benzeri şeylere bağlıdır, ama bunların hiçbirinin şu anki amaçlarımız açısından bir önemi yok. Önemli olan, kırılmamış bir yumurtaya hiç benzemeyeceğidir.

Böylesi bir yumurtayı alıp, evrenin geri kalanı tarafından rahatsız edilmeyeceği, kesinlikle nüfuz edilemez, fiilen ebediyete kadar dayanacak bir kutuya kapattığımızı tasavvur edin. Uygunluk açısından, kutudaki yumurtayı uzaya, herhangi bir kütleçekim alanı ya da dış kuvvetin uzağına koyduk ve ebediyete kadar rahatsız edilmeden orada dalgalandığını tasavvur ettik. Kutunun içinde ne olur?

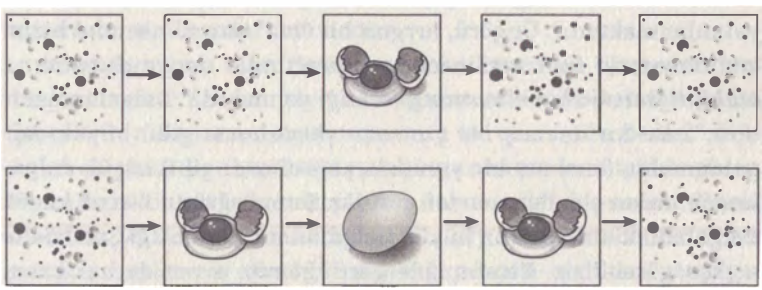
Baştan kutunun içine kırılmamış bir yumurta koysak bile eninde sonunda yalnızca moleküllerinin rastgele hareketi sonucu kırılacaktır. Hareketsiz, kırık bir yumurta olarak, sarısı ile akı ayırt edilebilir durumda bir süre geçirecektir. Ama yeterince beklersek, başka rastgele hareketler kademeli bir şekilde akının, sarısının ve hatta kabuğunun dağılıp karışmasına neden olacak ve sonunda yüksek entropili bir ayırt edilemez yumurta molekülleri durumuna erişecektir. Bu dengedir ve olağanüstü uzun bir süre devam edecektir.

Ama beklemeyi sürdürürsek, başlangıçta yumurtanın kırılmasına neden olan aynı türden rastgele hareketler bu molekülleri düşük entropili kurulumlara doğru karıştıracaktır. Örneğin moleküllerin hepsi kendilerini kutunun bir tarafında bulabilir. Ve gerçekten çok uzun bir zaman sonra, rastgele hareketler kırılmış bir yumurtaya benzeyen şeyler (kabuk, ak ve sarı), hatta kırılmamış bir yumurta oluşturacaktır! Bu mantıksız görünüyor, ama Poincaré'nin yinelenme kuramının ya da olağanüstü uzun sürelerdeki rastgele dalgalanmaların dallanıp budaklanmasının doğrudan sonucudur.

Çoğu zaman, oluşturucu moleküllerin rastgele dalgalanmalarıyla bir yumurta oluşması süreci, kırılmamış bir yumurtanın yüksek entropili bir bulamaca dönüşmesi sürecinin zamanda tersinmesi gibi görünecektir. Yani önce kırılmış bir yumurta biçimine dalgalanacak, sonra da kırık parçalar şans eseri kırılmamış bir yumurta şeklinde düzenlenecektir. Bu sadece zaman tersinmesi

simetrisinin bir sonucudur; yüksek entropiden düşük entropiye en sıradan evrimler tamı tamına düşük entropiden yüksek entropiye evrimler gibi görünecektir, ancak tersten oynatılmış gibi olacaktır.

Zorluk burada. Girilemez bir kutuya kapatılmış böyle bir yumurtamız olduğunu ve abes –yinelenme zamanından çok daha uzun– bir süre sonra içeri göz attığımızı tasavvur edelim. Çok yüksek bir olasılıkla denge durumundaki gibi bir şey göreceğiz: bağdaşık bir yumurta molekülleri karışımı. Ama aşırı şanslı olduğumuzu farz edin ve kırılmış bir yumurtaya benzer bir görüntüyle karşılaşmış olalım – orta entropi durumu, kimi kırık yumurta kabuğu parçaları ve yumurta akı arasında yumurta sarısı. Diğer bir deyişle, yakın zamanda bir nedenle kırılmış bütün bir yumurta varsa karşılaşacağımız manzaranın tıpkısı.



Şekil 56: Ebediyen girilemez bir kutuya kapatılmış bir yumurta. Çoğunlukla kutu yüksek entropili dengede yumurta molekülleri içerecektir. Ara sıra, üst sırada olduğu gibi, kırılmış bir yumurtanın orta entropili durumuna dalgalanacaktır. Çok daha nadir olarak, alt sırada görüldüğü gibi, kırılmamış bir yumurtanın düşük entropili durumuna kadar dalgalanacak ve geri dönecektir.

Bu kırılmış yumurta görüntüsünden, yakın zamanda kutuda kırılmamış bir yumurta olduğu sonucuna varabilir miyiz? Hiç değil. Sekizinci Bölümün sonundaki tartışmamızı anımsayın. Orta entropili bir kurulum verilip, başka bir bilgi ya da Geçmiş Varsayımı gibi bir kabul verilmezse (ki bu elimizdeki kadim kapalı kutu bağlamında uygunsuz olur), bu çok yüksek olasılıkla yüksek entropili bir geçmişten evrilmiştir, tıpkı çok yüksek olasılıkla yüksek entropili bir geleceğe doğru evrildiği gibi. Tersinden söylersek,

kırılmış bir yumurta varsa, bunun kırılmamış bir yumurtadan *evrilmiş* olma olasılığı, kırılmamış bir yumurtaya doğru *evrilme* olasılığından fazla değildir. Yani hiç de olası değildir.

BOLTZMANN BEYİNLERİ

Kutudaki yumurta örneği Boltzmann-Lucretius senaryosunun temel sorununu gösterir: Düşük entropili bir geçmiş durum öneren Geçmiş Varsayımına başvuramayız, çünkü evren (ya da yumurta) girebileceği tüm kurulumlar arasındaki bir çevrimde öngörülebilir bir sıklıkta dolanır durur. Ebediyen süren bir evrende "başlangıç koşulu" diye bir şey olamaz.

Evrenin zamanının çoğunluğunu termal dengede geçirdiği, ama yerel ortamımızın neden dengede olmadığını açıklamak için antropik ilkeye başvurabileceğimiz fikri güçlü bir öngörüde bulunur – ve bu öngörü de veriler tarafından güçlü bir şekilde yalanlanmaktadır. Öngörü, (uygun bir "biz" tanımı altında) bizim var olmamıza izin verilmesi koşulu altında, *denge durumuna olabildiğince yakın olmamız gerektiği* yolundad.r. Dalgalanmalar olur, ama (kırılmamış bir yumurta yaratılması gibi) büyük dalgalanmalar, (kırılmış bir yumurta yaratılması gibi) küçük dalgalanmalardan çok daha ender görülür. Bunu, eğrinin birçok küçük dalgalanma ama pek az büyük dalgalanma gösterdiği Şekil 54'te açıkça görebiliriz. Etrafımızda gördüğümüz evren de hakikaten büyük bir dalgalanma olmalıdır.[19]

Denge çevresinde dalgalanan ebedi bir sistem olması durumunda evrenin neye benzeyeceği konusunda daha kesin konuşabiliriz. Boltzmann neden kendimizi daha sık görülen denge evrelerinden birinde bulmadığımızı açıklamak için (böyle adlandırmış olmasa da) antropik ilkeyi öne sürmüştü: dengede, yaşam olamaz. Açıkça, yapmak istediğimiz böylesi bir evrende yaşam için elverişli en olağan koşulları bulmaktır. Ya da daha dikkatli olmak isti-

[19] Farklı dalgalanma çeşitleri üzerine dikkatli nicel bir anlayış ancak görece yakın zamanda, "dalgalanma kuramı" adı verilen bir şey biçiminde elde edilebilmiştir (Evans ve Searles, 2002). Ama temel fikir uzun süredir anlaşılmıştı. Bir sistemin entropisinin aşağıya doğru rastgele bir sıçrama gerçekleştirmesinin olasılığı, entropideki değişmenin eksi durumunun üssüne orantılıdır. Bu, küçük dalgalanmaların sık, büyük dalgalanmaların aşırı nadir görüleceğini söylemenin süslü şeklidir.

yorsak, belki de yalnızca yaşam için elverişli koşulları değil, olduğumuzu düşündüğümüz o belli zeki ve bilinçli yaşam türü için de elverişli koşulları aramalıyız.

Belki de bu bir çıkış yoludur. Belki, diye akıl yürütebiliriz, bizimki gibi ileri bilimsel bir uygarlığın gelişebilmesi için kökeni bir tür süper-düşük entropili erken koşullarda olan yıldızlar ve galaksilerle dolu tüm bir evren biçimindeki bir "destek sistemine" gerek vardır. Belki de bu, neden etrafımızda böylesi müsrif bir evren bulmuş olduğumuzu açıklar.

Hayır. Oyunun şöyle oynanması gerekir: siz bana, antropik nedenlerle evrende var olması gerektiğinde ısrarlı olduğunuz şeyi söyleyin. Bir güneş sistemi, bir gezegen, belli bir ekosistem, bir karmaşık yaşam türü, şimdi içinde bulunduğunuz oda, ne istersiniz. Sonra da sorun, "bu gerekler verildiğinde, Boltzmann-Lucretius senaryosunda, istediğimiz özel şeylerin dışında, evrenin *geri kalanının* en olası durumu nedir?

Yanıt hep aynı olur: evrenin geri kalanının en olası durumu, denge olurdu. "Sonsuz bir gaz kutusunun bir balkabaklı pasta içerecek bir duruma dalgalanmasının en olası yolu nedir?" diye sorarsak, yanıt şu olur; "bağdaşık bir gaz kutusunun içinde yüzen bir balkabaklı pastadan oluşan bir duruma dalgalanarak." Buna, zamanda ya da uzayda, herhangi bir şey eklemek –bir fırın, bir pastacı, evvelce var olan bir balkabağı parçası– yalnızca senaryoyu daha düşük olasılıklı bir duruma getirir, çünkü bunun gerçekleşmesi için entropinin daha da derine dalması gerekir. Bu bağlamda bir balkabaklı pasta elde etmenin açık ara en kolay yolu, onun kendisini çevreleyen kaostan kademeli bir şekilde kendi başına dalgalanmasıdır.[20]

Sir Arthur Eddington, 1931'deki bir konferansta, kusursuz antropik bir kıstas düşünmüştü:

---

[20] Şöyle düşünmek çekicidir: *Ama dengedeki şekilsiz bir gaz molekülleri yığınının dalgalanarak balkabaklı bir pasta oluşturması inanılmaz düşük bir olasılıktır, halbuki bir pastanın bir pastacı vb içeren bir dünyada yaratılmış olması daha yüksek bir olasılıktır*. Çok doğru. Ama bir pastanın kendi başına dalgalanarak oluşması ne kadar zor olsa da bir pastacıyla bir parça balkabağının dalgalanması çok daha zor olur. *Bu kabuller altında* –denge çevresinde dalgalanan ebedi bir evren– oluşan pastaların çoğu evrende tek başlarına olacaklardır. Aşina olduğumuz dünyanın böyle işlemiyor olduğu olgusu, bu kabuller konusunda bir şeylerin doğru olmadığının kanıtıdır.

> [Bu kabuller çerçevesinde] matematiksel fizikçiler içeren bir evren, herhangi bir tarihte en yüksek örgütsüzlük durumunda olacaktır ve bu da böylesi yaratıkların varoluşlarıyla tutarsız değildir.[21]

Eddington iyi bir evren için gerek duyacağınız şeyin bir matematiksel fizikçi olduğunu varsayar. Ne yazık ki, evren ebedi bir dalgalanan moleküller yığınıysa, en sık görülecek matematiksel fizikçiler kendi başlarına, rastgelelikle çevrelenmiş olacaklardır.

Bu mantığı nihai sonucuna vardırabiliriz. İstediğimiz tek bir gezegense, kuşkusuz her birinde yüz milyar yıldız bulunan yüz milyar galaksiye gerek duymayız. Ve istediğimiz tek bir kişiyse, tüm bir gezegene de gerek duymayız. Ama aslında gerek duyduğumuz dünya üzerine düşünebilecek tek bir zekâysa, bütün bir kişiye de gerek duymayız – yalnızca beynine gerek duyarız.

Yani bu senaryonun olmayana ergi yanı, bu çoklu evrendeki zekâların büyük çoğunluğunun, onları çevreleyen kaostan kademeli olarak dalgalanan ve sonra da kademeli olarak yine bu kaosun içinde eriyen yalnız, bedensiz beyinler olacağıdır. Bu hüzünlü beyinlere Andreas Albrecht ve Lorenzo Sorbo "Boltzmann beyinleri" adını takmışlardır.[22] Siz ve ben Boltzmann beyinleri değiliz – kendi başımıza çevremizdeki dengeden dalgalanmayıp, kademeli olarak önceki çok düşük entropiden evrilmiş, "olağan gözlemciler" denilebilecek şeyleriz. Bu yüzden, evrenimizin ebedi bir uzay-zamanın bir denge durumunun çevresindeki rastgele dalgalanmalar olduğu varsayımı yalanlanmış oluyor.

Bu akıl yürütme çizgisini yalnızca bir yumurta söz konusu olduğunda sürdürüp, bedensiz beyinlerin sayısını olağan gözlemcilerin sayılarıyla karşılaştırmaya başladığımızda kesebilirsiniz. Ama *eğer* (ve bu hayli ağırlıklı bir "eğer" olur) rastgele dalgala-

---

[21] Eddington (1931). Burada önemli olanın tüm evrenin entropisindeki önemli düşüşlerin olasılığı değil, koşullu soru olduğuna dikkat edin: "evrenin altkümelerinden birinin entropide bir düşüş deneyimlemesi durumunda, evrenin geri kalanına ne olmasını bekleriz?" Söz konusu altküme diğer her şeye zayıf bir şekilde bağlı olduğu sürece, yanıt sizin tahmin edeceğiniz ve Eddington'ın gösterdiği olacaktır. Evrenin geri kalanının entropisi muhtemelen her zamanki kadar yüksek olacaktır. Klasik istatistiksel mekanik bağlamında (hayli matematiksel bir düzeyde) tartışmalar için, *bkz.* Dembo ve Zeitouni (1998) ya da Ellis'in (2005) kitapları.

Albrecht ve Sorbo (2004).

nan parçacıklarla dolu ebedi bir evrenden söz ediyorsak, mantık kesinlikle aynıdır. Böyle bir evrende, ne türden dalgalanmaların olacağını ve hangi sıklıkla gerçekleşeceklerini biliyoruz; entropi ne kadar değişirse, dalgalanma olasılığı o kadar az olacaktır. Bugün evrenimizde ne kadar olağan gözlemci olursa olsun, oluşacak Boltzmann beyinlerinin yanında sayıları çok az kalacaktır. Belli sayıda gözlemci belli bir durumdaki parçacık yığınıdır, bu durum sonsuz sıklıkta olacaktır ve onun yüksek entropili kaos tarafından çevrelenmiş olduğu durum, bir "olağan" evrenin parçası olarak ortaya çıkacağı durumdan muazzam ölçüde daha fazla fazladır.

Ama titiz olma açısından – bir Boltzmann beyni olmadığınızdan *gerçekten* emin misiniz? Vücudunuzun geri kalanını hissettiğinizi, etrafınızdaki diğer nesneleri gördüğünüzü ve yeri gelmişken, daha düşük entropili bir geçmişi de anımsadığınızı söyleyerek yanıt verebilirsiniz: bunların hepsi etrafındaki moleküllerden yakın zamanda dalgalanarak oluştuğunuz fikriyle çelişen şeyler. Sorun şu ki, dış dünya üzerine bu gerçek gibi görünen ifadeler aslında beyninizin durumunun içindeler. Kuşkusuz tam da bu duygulara sahip bir beynin çevredeki kaostan dalgalanarak oluştuğunu tasavvur edebiliriz. Ve iddia ettiğimiz gibi, bu beynin kendi başına dalgalanması dev bir evrenin parçası olmasından çok daha olası. Boltzmann-Lucretius senaryosunda, Geçmiş Varsayımına başvurmayız, bu yüzden tüm anılarımızın yalan olma olasılığı çok yüksektir.

Yine de tam olarak hangi iddiada bulunduğumuz üzerine dikkatlice düşünmemiz koşuluyla, bu olasılığı bir kenara atmak da gayet meşrudur. "Ben bir Boltzmann beyni olmadığımı biliyorum, bu yüzden evren açıkça rastgele bir dalgalanma değildir," demek doğru değildir. Söylenecek doğru söz, "Bir Boltzmann beyni olsaydım, güçlü bir öngörü olacaktı: evren üzerin başka her şey dengede olmalıydı. Ama değil. Dolayısıyla evren rastgele bir dalgalanma değil." Çok kuşkucu olmakta ısrarcı olursak, yalnızca o andaki ruh halimizin değil, aynı zamanda bizim görünürde derlediğimiz tüm ek duyusal verilerin de çevremizin doğru bir betimlemesi değil de rastgele bir dalgalanmayı temsil edip etmediğini de düşünebilirdik. Kesin konuşmak gerekirse, bu kuşkusuz olasıdır, ama geçen bölümde tartıştığımız anlamda bilişsel olarak istikrarsızdır. Bu doğruysa, yaşamanın, düşünmenin ve davranmanın anlamlı bir

yolu yoktur, dolayısıyla buna inanmanın güvencesi de yoktur. Çevremizdeki evrenin (büyük ölçüde) göründüğü gibi olduğunu kabul etmek daha iyidir.

Bu nokta karakteristik bir berraklıkla Richard Feynman tarafından ünlü *Lectures on Physics* [*Fizik Dersleri*] içinde ortaya konmuştur:

Dünyanın bir dalgalanma olduğu varsayımına göre, öngörülerin tümü dünyanın evvelce hiç görmediğimiz belli bir yerine baktığımızda, baktığımız parça gibi değil, karışık olduğunu göreceğimiz yolundadır. Düzenimiz bir dalgalanmadan kaynaklanıyorsa, hemen o anda fark ettiğimiz dışında hiçbir yerde düzen olmasını bekleyemeyiz...

Dolayısıyla evrenin bir dalgalanma olmadığı ve düzenin de şeylerin başladığı zamanki koşulların bir anısı olduğu sonucuna varırız. Bu işin mantığını anladığımız anlamına gelmez. Bir nedenle, evren bir zamanlar enerji içeriği olarak çok düşük bir entropiye sahipti ve o zamandan beri de entropi yükselmiştir. Geleceğe giden yol da böyledir. Bu tüm tersinmezliklerin kökenidir, bu büyüme ve çürüme süreçlerini olası kılan, geçmişi anımsayıp geleceği anımsamamamıza, evrenin tarihindeki, düzenin şimdikine göre daha yüksek olduğu o ana daha yakın olan şeyleri anımsayıp, düzensizliğin şimdiye göre daha yüksek olduğu ve gelecek olarak adlandırdığımız yerdeki şeyleri anımsamamamıza neden olan şeydir.[23]

ÇOKLU EVRENDEKİ BİZ KİMİZ?

Boltzmann-Lucretius senaryosunun üzerine kapıyı kesinlikle kapamadan önce doldurmamız gereken bir boşluk daha vardır. Geleneksel istatistiksel mekaniğin sonuçlarını, entropideki küçük dalgalanmaların büyük dalgalanmalara göre daha sık oluştuğunu ve ebediyen denge çevresinde dalgalanan bir evrendeki zeki gözlemcilerin büyük çoğunluğunun, muazzam düşük entropili önceki bir kurulumdan doğal olarak evrilmeyip, kendilerini başka her tarafı yüksek entropili bir ortamda bulacaklarını kabul edelim.

Şöyle sorulabilir: Ne yapalım yani? (Olası tüm "gözlemci" tanımı altındaki) gözlemcilerin çoğunluğunun kendilerini yüksek

[23] Feynman, Leighton ve Sands (1970).

entropili bir ortamdaki ucube dalgalanmalar şeklinde bulmalarından dolayı neden kendimi üzeyim ki? Tek sıkıntım, benim kim olduğum, çoğu gözlemcinin ne olduğu değil. Büyük bir dünyanın ebedi yaşamındaki bir yerlerde çevremde bir tek evren örneği gördüğüm sürece (ki bu da olacaktır), bu görüntünün verilerle tutarlı olduğunu öne sürmek için tek gereken bu değil mi?

Diğer bir deyişle, Boltzmann-beyin savı zımni bir kabulde bulunur: bizim evrende bir şekilde "tipik gözlemciler" olduğumuzu ve dolayısıyla çoğu gözlemcinin ne göreceğini sorarak öngörülerde bulunmamız gerektiğini.[24] Bu masum, hatta mütevazı görünür. Ama yakından bakılınca, doğrulayabileceğimizden çok daha güçlü görünen sonuçlara yol açar.

Evren üzerine her yönüyle birbirinin aynısı iki kuram olduğunu tasavvur edin, tek bir istisnayla, biri Tau Ceti yıldızının yörüngesinde yerküre benzeri bir gezegen bulunduğunu ve bu gezegende de 10 trilyon kertenkele benzeri zeki yaratık yaşadığını öne sürerken, diğer kuram Tau Ceti sisteminde herhangi bir türden hiçbir zeki varlığın yaşamadığını öne sürüyor. Çoğumuz şu anda bu iki kuram arasında bir seçim yapacak kadar bilgi sahibi olmadığımızı söyleyecektir. Ama gerçekten evrenin tipik gözlemcileriysek, birinci kuram güçlü bir şekilde burada, Yeryüzünde yaşayan insanlar değil, Tau Ceti'nin yörüngesindeki gezegende yaşayan kertenkeleler olmamız olasılığının daha yüksek olduğunu öngörmektedir, çünkü insanlara göre o kadar daha çok kertenkele vardır ki. Ama bu öngörü doğru değildir, anlaşılan bu yüzden Tau Ceti sisteminde aslında neler olduğunu konusunda hiçbir veri toplamadan, o kadar çok gözlemcinin varlığı olasılığını yok saydık.

Tipik olduğumuzu kabul etmek, kendimizi geriye çekme hamlesi olarak görülebilir, ama aslında evrenin geri kalanında neler olduğuna dair çok güçlü bir iddia anlamına gelir. Yalnızca "biz tipik gözlemcileriz," değil, "tipik gözlemciler bizim gibidir." Böyle söylendiğinde, hakkımız olduğundan daha güçlü bir kabulmüş gibi duruyor. (Literatürde bu "Mağrur Filozof Sorunu" olarak bilinir.) Bu yüzden belki de evrendeki farklı gözlemci türlerinin sayısını hiç karşılaştırmamamız gerekir; yalnızca belli bir kuramın

[24] Bu tartışma Hartle ve Srednicki'den (2007) alınmıştır. Aynı zamanda *bkz.* Olum (2002), Neal (2006), Page (2008), Garriga ve Vilenkin (2008) ve Bousso, Freivogel ve Yang (2008).

bizim gibi gözlemcilerin ortaya çıktığını öngörüp görmediğini sormalıyız, öngörüyorsa da kuramı verilerle tutarlıymış gibi düşünmemiz gerekir. Bu konu hakkında düşünmenin doğru yoluysa, Boltzmann-Lucretius senaryosunu reddetmemiz için bir nedenimiz kalmaz. Gözlemcilerin çoğunluğu evrende yalnız olsalar da bir kısmı kendilerini bizimki gibi bölgelerde bulacaklardır, böylece de kuramın deneyimimizle uyumlu olduğuna karar verilecektir.[25]

Bu minimalist yaklaşımın zorluğu, evrende gerçekleşmesi olası olan üzerine çok fazla değil çok az çıkar yol sağlamasıdır. İstatistiksel mekanik Kayıtsızlık İlkesine dayanır – halihazırdaki makro-durumumuzla tutarlı tüm mikro-durumların, en azından geleceği öngörme konusunda eşit düzeyde olası olduğu kabulüne. Bu esasında bir tipiklik kabulüdür: bizim mikro-durumumuzun, makro-durumumuzun tipik bir üyesi olması olasıdır. Bunu kabul etmemize izin verilmezse, her türlü istatistiksel akıl yürütme aniden ulaşılmaz olur. Bir buz küpünün bir bardak ılık suda muhtemelen eriyeceğini söyleyemeyiz, çünkü ebedi bir evrende ara sıra tam tersinin gerçekleşeceği anlar olacaktır. Tipiklik konusundaki bağlantımızı çok ileriye götürmüşüz gibidir.

Bunun yerine, adil bir orta yolu hedeflememiz gerekir. Evrendeki tüm gözlemciler arasında tipik olduğumuzu söylemek çok şey istemek olur, çünkü bu evrenimizin hiç gözlemlemediğimiz parçaları üzerine çok güçlü iddialarda bulunmak demektir. Ama en azından *kesinlikle bizim gibi* gözlemciler arasında tipik olduğumuzu söyleyebiliriz – yani bizimle aynı temel fizyolojiye ve aynı anı kümesine, evren üzerine aynı iri tanelendirme deneyimine sahip gözlemciler.[26] Bu kabul evrenin başka yerlerindeki başka

[25] Çok geniş bir evrendeki çeşitli gözlemci türlerini karşılaştırmaya başladığımızda, yakından ilişkili birkaç soru ortaya çıkar. Biri, çok ileri bir uygarlığın çok sayıda zeki varlığı simüle edebilecek güçlü bir bilgisayar yapmasının çok kolay olacağını ve dolayısıyla bizim çok yüksek olasılıkla bir bilgisayar simülasyonunda yaşadığımızı iddia eden "simülasyon savıdır" (Bostrom, 2003). Bir başkası da insan ırkının çok uzun süre yaşamasının olası olmadığını, olsaydı, (şimdi) insan uygarlığının erken çağında yaşayanların çok atipik gözlemciler olacağını öne süren "kıyamet savıdır" (Leslie, 1990; Gott, 1993). Bunlar çok kışkırtıcı savlardır; ikna değerleri okuyucunun yargısına kalmıştır.
Bkz. Neal (2006), o bu yaklaşımı "Tam Dizinsel-olmayan Koşullandırma" olarak adlandırır. "Koşullandırma," bazı koşullar gerçekleştiğinde evrenin geri kalanının neye benzediğini sorarak öngörülerde bulunduğumuz anlamına gelir (yani belli özelliklere sahip bir gözlemciyiz); "tam," yalnızca "biz bir

türden zeki varlıkların olası mevcudiyetleri üzerine desteksiz sonuçlara varmamıza izin vermez. Ama Boltzmann-Lucretius senaryosunu saf dışı bırakmamız için yeterlidir. Evren ebediyen termal denge çevresinde dalgalanıyorsa, yalnızca gözlemcilerin çoğu etraftaki kaostan kendi başlarına ortaya çıkmakla kalmazlar, aynı şey sizin ya da benim sahip olduğumuz özelliklerin tıpkısına –geçmiş üzerine sahip olduğumuz sözde anılar da buna dahildir– sahip olan gözlemciler altkümesi için de geçerlidir. Bu anılar genellikle yanlış olacaktır ve onların içine dalgalanma olasılığı çok düşüktür, ama yine de tüm evrenin dalgalanmasından çok daha düşük olasılığa sahiptir. İstatistiksel akıl yürütmeyi sürdürmenin bu asgari gerekli koşulu bile –kesinlikle bizim gibi gözlemciler kümesinden rastgele seçildiğimizi kabul etmemiz gerekir– Boltzmann-Lucretius senaryosunu boşa çıkartmak için yeterlidir.

Gözlemlediğimiz evren bir dalgalanma –en azından, daha titiz olmak adına, zamanının çoğunu dengede geçiren ebedi bir evrendeki istatistiksel bir dalgalanma– değildir. Yani evrenin ne olmadığı budur; ne *olduğunu* ise, daha çalışmamız gerekir.

BİTİMLER

5 Eylül 1906 akşamı, Ludwig Boltzmann bir parça ip aldı, ailesiyle tatilini geçirdiği İtalya'daki otel odasının perde rayına bağladı ve kendini astı. Bedeni kızı tarafından, o gece odalarına döndüğünde bulundu. Altmış iki yaşındaydı.

Boltzmann'ın intihar nedeni açıklığa kavuşmamıştır. Kimileri atom kuramı üzerine fikirlerinin geniş kabul görmemesinden dolayı moralinin bozuk olduğunu önermiştir. Ama her ne kadar o zamanlar Almanca konuşan bilim insanlarının birçoğu atomlar konusunda kuşkucu olsa da kinetik kuramı dünyanın büyük bölümünde standart haline gelmişti ve Boltzmann'ın önde gelen bir bilim insanı olarak statüsü Avusturya ve Almanya'da tartışılmazdı. Boltzmann sağlık sorunları yaşıyordu ve depresyon krizlerine açıktı; bu ilk intihar girişimi değildi.

---

gözlemciyiz" gibi kaba özelliklerle değil, her bir veri parçasıyla koşullandırdığımız anlamınadır; "dizinsel olmayan" da, yalnızca "biz" olarak işaretlediğimiz tek bir örneği değil, koşulların karşılandığı tüm örnekleri mutlaka ele alacağımız anlamına gelir.

Ama depresyonu kesintiliydi; ölümünden yalnızca aylar önce, önceki yıl Berkeley'deki California Üniversitesinde dersler vermek için gittiği Amerika gezisi hakkında hevesli ve mutlu havada bir anlatı kaleme alarak dostlarına dağıtmıştı. California'dan "Eldorado" olarak söz ediyordu, ama Amerika'nın suyunu içilmez bulmuştu ve yalnızca bira ve şarap içiyordu. Bu sorunluydu çünkü o sıralarda Amerika'da alkol karşıtı hareket güçlüydü ve özellikle Berkeley kesinlikle alkolsüzdü; Boltzmann'ın anlatısında hep görülen bir tema, çeşitli yasaklı mekânlara kaçak şarap sokma girişimleri üzerineydi.[27] Nihai eylemine hangi sağlık sorunu, depresyon ve bilimsel tartışma karışımının neden olduğunu muhtemelen hiç bilemeyeceğiz.

Atomların varlığı ve makroskobik nesnelerin anlaşılmasındaki yararları konusunda Boltzmann'ın haklılığı üzerine ortalıkta dolaşan kuşkular o öldüğü sıralarda hızla dağılmaktaydı. Albert Einstein'ın 1905'teki "mucizevi yılı" esnasında yazdığı makalelerden biri Brown hareketinin (havada asılı küçük parçacıkların görünürde rastgele hareketi) tek tek atomlarla çarpışmalar terimleriyle açıklanması üzerineydi; fizikçilerde var olan kuşkuculuk kalıntıları da kısa sürede yok oldu.

Entropinin doğası ve İkinci Yasa üzerine sorular kuşkusuz hâlâ bizimle birlikte. Erken evrenin düşük entropisinin açıklamaya gelince, "Boltzmann haklıydı" bile diyemiyoruz, çünkü aralarında herhangi birinde karar kılmadan, bir dizi farklı olasılık belirtmişti. Ama tartışmanın koşullarını o belirlemişti ve yüz yılı aşkın bir süre önce onu meşgul eden sorunlar üzerine hâlâ tartışıyoruz.

[27] Boltzmann'ın gezi anıları Cercignani (1998), 231 içinde yeniden basılmıştır. Yaşamı ve ölümü üzerine daha fazla ayrıntı için, o kitabın yanında *bkz.* Lindley (2001).

11
KUANTUM ZAMANI

Uzlaşıya göre tatlı, uzlaşıya göre acı, uzlaşıya göre sıcak, uzlaşıya göre soğuk, uzlaşıya göre renk; aslında atomlar ve boşluktan başka bir şey yok.
–Demokritos[1]

Lisede fiziğe giriş dersi almış olan birçok kişi, "Newton fiziği bizde sezgisel bir anlam yaratır," iddiasına katılmayacaktır. Makaralar, vektörler, eğik düzlemlerin çıldırtıcı bir dönme dolabını anımsayıp "sezgisel anlam yaratmanın" Newton mekaniğini suçlamak için son şey olduğunu düşüneceklerdir.

Ama Newton mekaniğinin çerçevesinde fiilen bir şeyleri hesaplama süreci –ödev olarak bir problemi çözmek ya da astronotları aya göndermek– vahşice karmaşık olsa da altta yatan kavramlar hayli açıktır. Dünya gözlemleyip tanıyabileceğimiz elle tutulur şeylerden oluşur: bilardo topları, gezegenler, makaralar. Bunlar kuvvet uygular ya da birbirlerine çarparlar ve bu etkilere bağlı olarak hareketleri değişir. Laplace'ın şeytanı evrendeki her parçacığın konum ve momentumunu bilmiş olsaydı, mükemmel bir sadakatle geçmişi ve geleceği öngörebilirdi; bunun bizim becerimizin ötesinde olduğunu biliyoruz, ama sürtünmesiz bir masanın üzerindeki birkaç bilardo topunun konum ve momentumlarını bildiğimizi ve en azından ilkesel olarak, hesaplamayı yaptığımızı tasavvur edebiliriz. Bunun ardından, tüm evreni hesaba katmak yalnızca dış-kestirim ve cesaret işidir.

Newton mekaniğinden fizikçiler, bunun yalnızca Newton tarafından belirlenen belli kurallar kümesi olmadığını vurgulamak için, genellikle "klasik" mekanik olarak söz ederler. Klasik mekanik dünyanın derin yapısı üzerine düşünmenin bir yoludur. Farklı türden şeyler –beysbol topları, gaz molekülleri, elektromanyetik

[1] Aktaran von Baeyer (2003), 12-13.

dalgalar– farklı belli kurallara uyarlar, ama bu kurallar aynı çerçeveyi paylaşır. Bu çerçevenin özü de her şeyin bir tür "konumu" ve bir tür "momentumu" olduğu ve bu bilginin de sonrasında ne olacağının öngörülmesinde kullanılabileceğidir.

Bu yapı çeşitli bağlamlarda yinelenir: Newton'ın kendi kütleçekim kuramı, Maxwell'in on dokuzuncu yüzyıl elektrik ve manyetizma kuramı ve Einstein'ın genel göreliliği hep klasik çerçeveye girerler. Klasik mekanik belli bir kuram değildir; bir paradigmadır, bir fizik kuramının ne olduğunu kavramlaştırmanın yoludur ve şaşırtıcı bir deneysel başarı yelpazesi göstermiştir. Newton 1687 tarihli başyapıtı *Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica*'yı yayımladıktan sonra, fiziği başka bir şekilde yapmayı tasavvur etmek neredeyse imkânsız hale geldi. Dünya konumlar ve momentumlarla karakterize edilen, belli kuvvet kümeleri tarafından itilen şeylerden oluşur; fiziğin işi şeylerin türlerini sınıflandırmak ve kuvvetlerin ne olduğunu belirlemekti, o zaman da işimiz bitmiş olacaktı.

Ama şimdi işin doğrusunu biliyoruz: Klasik mekanik doğru değildir. Yirminci yüzyılın ilk on yıllarında, mikroskobik ölçeklerde maddenin davranışlarını anlamaya çalışan fizikçiler kademeli bir şekilde kuralların tersyüz edilip yerlerine başka bir şey konması gerektiği sonucuna varmak zorunda kaldılar. Bu başka şey de *kuantum mekaniğiydi*, muhtemelen tarih boyunca insan zekâsı ve hayal gücünün en büyük zaferi. Kuantum mekaniği dünyanın klasik mekaniğin gösterdiğinden kökten farklı bir görüntüsünü sundu, deneysel verilerin onları çaresiz bırakmaması durumunda, bilim insanlarının hiçbir zaman ciddi bir şekilde dikkate almayacakları bir görüntü. Bugün kuantum mekaniği, klasik mekaniğin yirminci yüzyılın şafağında sahip olduğu statüye sahiptir: çeşitli deneysel sınamaları geçmiştir ve araştırmacıların çoğunluğu nihai fizik yasalarının doğasının kuantum mekaniğine bağlı olacağına kani olmuştur.

Ama zaferlerine karşın, kuantum mekaniği bir şekilde esrarını korumuştur. Fizikçiler kuantum mekaniğini nasıl kullanacaklarından kesinlikle emindir – kuramlar oluşturabilir, öngörülerde bulunabilir ve deneylerle sınanabilirler ve bu arada hiçbir belirsiz durum olmamıştır. Yine de kuantum mekaniğinin aslında ne *olduğunu* bildiğimiz konusunda tamamen emin değiliz. "Kuantum mekaniğinin yorumlanması" adı altında, önemli sayıda yetenekli

bilim insanı ve filozofun zamanını işgal eden hayli saygıdeğer bir entelektüel çalışma alanı var. Yüz yıl önce, "klasik mekaniğin yorumlanması" gibi bir alan yoktu – klasik mekanik yorumlanması mükemmelen açık bir alandır. Kuantum mekaniği konusunda düşünüp konuşmanın en iyi yolunun ne olduğundan hâlâ emin değiliz.

Bu yorum endişesi kuantum mekaniği ile klasik mekanik arasındaki hem basit hem de sonuçları açısından dünyayı sarsacak tek bir temel farklılıktan kaynaklanır:

> Kuantum mekaniğine göre, dünyaya dair *gözlemleyebildiğimiz*, var *olanın* yalnızca küçük bir altkümesidir.

Bu ilkeyi açıklama girişimleri genellikle onu sulandırıp tanınmaz hale getirir. "Gülümsemesi çok güzel olan ama resmini çekmeye çalıştığınızda hep ortadan kaybolan o arkadaşınız gibi." Kuantum mekaniği bundan çok daha derindir. Klasik dünyada, belli bir niceliğin kesin bir ölçümünü yapmak zor olabilir; baktığımız sistemi bozmamak için çok dikkatli olmamız gerekir. Ama klasik mekanikte dikkatli olmamızı engelleyen bir şey yoktur. Diğer yandan, kuantum mekaniğinde, fiziksel bir sistemin eksiksiz ve bozucu olmayan gözlemlerini yapmanın önünde aşılamaz bir engel vardır. Genelde, yapılamaz, o kadar. Bir şeyi gözlemlemeye çalıştığınızda tam olarak ne olur ve fiiliyatta ne "ölçüm" sayılır – bunlar esrarın düğümlendiği yerlerdir. Bu yardımcı olacak biçimde "ölçüm sorunu" adı verilen şeydir, ama yüz metrelik uçuruma yuvarlanan otomobilin "arızalı" olarak nitelendirilmesi kadar yardımcı. Başarılı fizik kuramlarında bunun gibi belirsizlikler olmamalıdır; bunlardan bekleyeceğimiz ilk şey, açıkça tanımlanmış olmalarıdır. Kuantum mekaniğiyse tüm o inkâr edilemez başarısına karşın, o hale henüz gelmemiştir.

Bunların hiçbiri, kıyametin koptuğu ya da kuantum mekaniğinin sırlarının her istediğinize inanmak için bir bahane oluşturduğu anlamına gelmez. Özellikle, kuantum mekaniği yalnızca üzerinde düşünerek gerçekliği değiştirebileceğiniz ya da modern fiziğin kadim Budist bilgeliğini yeniden keşfettiği anlamına gelmez.[2] Yine de kurallar vardır ve gündelik yaşamlarımızı ilgilendi-

[2] Bu kadim Budistler bilge değil demek değildir, ama onların bilgelikleri ne klasik belirlenimciliğin atomik düzeyde başarısız olmasına dayanıyordu ne

ren rejimlerde kuralların nasıl işlediğini biliyoruz. Ama kuralların olası tüm durumlarda nasıl işlediğini anlamak isteriz.

Modern fizikçilerin çoğunluğu kuantum mekaniğini yorumlama sorunlarıyla yıllanmış "reddetme" stratejisiyle başa çıkarlar. İlgilenilen vakalarda kuralların nasıl işlediğini bilirler, kuantum mekaniğini belli koşullarda çalıştırabilirler ve deneylerle şaşırtıcı uyumlar sağlayabilirler ve bunların ne anlama geldiği ya da kuramın kusursuz bir şekilde iyi tanımlanıp tanımlanmadığı gibi belalı sorularla kendilerini üzmek istemezler. Bu kitaptaki amaçlarımız açısından, bu genellikle hayli iyi bir stratejidir. Kuantum mekaniği daha icat edilmeden önce bile zaman oku sorunu Boltzmann ve meslektaşları için orada duruyordu; kuantum mekaniğinin ayrıntıları konusunda kendimizi üzmeden entropi ve kozmoloji konusunda konuşarak çok ileri gidebiliriz.

Ama bir noktada, sorunla yüzleşmemiz gerekir. Zaman oku, ne de olsa, temel bir bilmecedir ve bu bilmecenin çözülmesinde kuantum mekaniğinin önemli bir rol oynaması olasıdır. Bir de çok daha dolaysız bir şey var: kuantum mekaniğinin tüm yorumlama karışıklığının bulunduğu o ölçüm süreci, *tersinmez* olmak gibi dikkat çekici bir özelliğe sahiptir. Fiziğin tüm iyice kabul görmüş yasaları içinde, bir tek kuantum ölçümü bir zaman oku tanımlayan süreçtir: bir kez yaptığınızda, geri döndüremezsiniz. Esrar da buradadır.

Bu esrarengiz tersinmezliğin, İkinci Yasada kodlandığı haliyle termodinamikteki esrarengiz tersinmezlikle tamamen aynı karaktere sahip olması çok olasıdır: bu, altta yatan tüm derin süreçlerin teker teker tersinir olmalarına karşın, yaklaştırımlar yapmanın ve bilgiyi boşa harcamanın bir sonucudur. Bu bölümde bu bakış açısını destekleyeceğim. Ama konu uzmanlar arasında tartışmalı olmayı sürdürüyor. Kesin olan bir şey varsa, o da zaman okuyla

---

de büyük kozmik kavramlardan söz ederlerken bulundukları sözcük tercihlerindeki kaçınılmaz rastgele benzerlikler dışında, modern fizik konusunda herhangi bir anlamlı şekilde öngörüde bulunmuşlardı. (Bir konferansta, ilksel nükleosentezin Torah'da öngörüldüğünden söz edildiğini duymuştum; tanımlarınızı yeterince çekiştirirseniz, her yerde esrarengiz benzerlikler görürsünüz.) Yüzeysel benzerliklerden elle tutulur bağlantılar kurmaya çalışırken amaçları ve yöntemleri arasındaki gerçek farklılıkları görmezden gelirseniz hem kadim filozoflara hem de modern fizikçilere saygısızlık etmiş olursunuz.

ilgileniyorsak, ölçüm sorununu bodoslamadan karşılamak zorunda olduğumuzdur.

KUANTUM KEDİSİ

Erwin Schrödinger'in düşünce deneyi tarzı sayesinde, kuantum mekaniği tartışmalarında kedileri örnek olarak kullanmak geleneksel hale gelmiştir.[3] Schrödinger'in kedisi ölçüm sorunundaki zorlukları göstermekte yardımcı olmak üzere önerilmiştir, ama inceliklere dalmadan önce, kuramın temel özellikleriyle başlayacağız. Düşünce deneylerimizde de hiçbir hayvana zarar gelmeyecek.

Kediniz, Bayan Kedinin evinizde iki gözde noktası olduğunu tasavvur edin: divanın üzeri ve yemek masasının altı. Gerçek dünyada kedi gibi bir fiziksel nesnenin yerini belirtmek için uzayda sonsuz sayıda konum vardır; aynı şekilde, kediniz çok hızlı hareket etmeye eğilimli olmasa da sonsuz sayıda momentum vardır. Kuantum mekaniğinin kalbine inebilmek için, işleri dramatik ölçüde basitleştireceğiz. Bu yüzden, Bayan Kedinin durumunu – klasik mekanikte betimlendiği gibi– divanda mı yoksa masanın altında mı olduğunu söyleyerek kesinlikle belirleyebileceğimizi tasavvur edelim. Hızı ya da divanın tam olarak neresinde bulunduğu gibi bilgileri atıyoruz ve "divan" ya da "masa" dışındaki konumları görmezden geliyoruz. Klasik bakış açısından, Bayan Kediyi iki durumlu bir probleme indirgiyoruz. (İki durumlu sistemler gerçek dünyada fiilen bulunur; örneğin bir elektron ya da fotonun spini* ya yukarı ya da aşağı bakar. İki durumlu bir sistemin kuantum durumu bir "kubit" tarafından betimlenir.)

İşte kuantum mekaniği ile klasik mekanik arasındaki ilk büyük fark: kuantum mekaniğinde, "kedinin bulunduğu yer" *diye bir şey yoktur*. Klasik mekanikte, Bayan Kedinin nerede olduğunu bilmeyebiliriz, o zaman "yüzde 75 olasılıkla masanın altında olduğunu düşünüyorum," gibi şeyler söyleyebiliriz. Ama bu bilgisizliğimiz üzerine bir ifadedir, dünya üzerine değil; biz bilsek de bilmesek de kedinin nerede olduğu konusunda gerçekte bir kesinlik vardır.

---

[3] Yakın zamanlarda, köpekler de bu iş için kullanılmaya başladı. *Bkz.* Orzel (2009).

Spin: Temel parçacıkların, klasik karşılığı olmayan, iç açısal momentumu denebilen ve ancak belirli değerler alabilen temel bir kuantum özelliği –çn.

Kuantum mekaniğinde, Bayan Kedinin (ya da herhangi başka bir şeyin) yeri konusunda bir kesinlik yoktur. Kuantum mekaniğinde durum uzayı öyle işlemez. Bunun yerine, durumlar *dalga fonksiyonu* adı verilen bir şey tarafından belirtilir. Dalga fonksiyonu da "kedi divanda," ya da "kedi masanın altında" gibi şeyler söylemez. Aksine, "baksaydık, kediyi masanın altında bulma şansımız yüzde 75, divanda bulma şansımız da yüzde 25 olurdu," gibi şeyler söyler.

"Eksik bilgi" ile "içkin kuantum belirlenemezliği" arasındaki ayrımın üzerinde durmaya değer. Dalga fonksiyonu kediyi masanın altında gözlemlemek için yüzde 75, divanda gözlemlemek için yüzde 25 olasılık olduğunu söylüyorsa, bu yüzde 75 olasılıkla kedini masanın altında *olduğu*, yüzde 25 olasılıkla da kedinin divanda *olduğu* anlamına gelmez. "Kedi nerede" diye bir şey yoktur. Onun kuantum durumu, klasik mekanikte elimizde olacak iki farklı olasılığın *üst üste binmesiyle* betimlenir. "İkisinin aynı anda doğru olması" da söz konusu değildir; doğrusu, kedinin bulunduğu "gerçek" bir yerin olmadığıdır. Kedinin gerçekliği üzerine sahip olduğumuz en iyi betimleme dalga fonksiyonudur.

Bunun ilk bakışta kabul edilmesinin neden zor olduğu açıktır. Kabaca söylemek gerekirse, dünya hiç de öyle gözükmez. Onlara baktığımızda, gezegenleri, kedileri hatta elektronları, dalga fonksiyonları tarafından betimlenen farklı olasılıkların üst üste gelmesinde değil, belli yerlerde görürüz. Ama kuantum mekaniğinin gerçek sihri de buradadır: gördüğümüz, olan değildir. Dalga fonksiyonu gerçekten vardır, ama baktığımızda onu görmeyiz; şeyleri özel, olağan klasik kurulumlarındaymışlar gibi görürüz.

Bunlar klasik fiziğin basketbol oynamak ya da yörüngeye uydu yerleştirmek için yetip de artmasını engellemez. Kuantum mekaniği, nesnelerin Newton hepten haklıymış gibi davrandıkları bir "klasik sınır" içerir ve bu sınır da tüm gündelik deneyimlerimizi kapsar. Kediler gibi boyutu makroskobik nesneler söz konusu olduğunda, hiçbir zaman onları "orada yüzde 75, burada yüzde 25" gibi üst üste gelmelerde bulmayız; onlar için her zaman "yüzde 99,9999999 ya da daha fazla) orada, yüzde 0,0000001 (ya da daha az) burada," olur. Klasik mekanik makroskobik dünyanın nasıl işlediği üzerine bir yakınlaştırmadır, ama çok iyi bir yakınlaştırmadır. Gerçek dünya kuantum mekaniğinin kuralları

çerçevesinde işler, ama klasik mekanik gündelik yaşamda bize yeter de artar bile. Yalnızca atomları ve temel parçacıkları düşünmeye başladığımızda kuantum mekaniği tüm sonuçlarıyla kaçınılmaz hale gelir.

DALGA FONKSİYONLARI NASIL ÇALIŞIR?

Nereden biliyorsunuz bunun doğru olduğunu, diye sorabilirsiniz. Zaten, "kediyi masanın altında gözlemleme olasılığı yüzde 75'tir" demek ile "kedinin masanın altında olma olasılığı yüzde 75'tir," demek arasında ne fark var ki? Bu iki olasılık arasındaki farkı ortaya çıkartacak bir deney tasarlamak da zor gözüküyor – ne de olsa, nerede olduğunu bilmemizin tek yolu bakmaktır. Ama aradaki farkı ortaya çıkartan ve *kuantum girişimi* (interferans) olarak adlandırılan can alıcı önemde bir olgu vardır. Bunun ne anlama geldiğini anlamak için dişimizi sıkıp dalga fonksiyonlarının aslında nasıl işlediğini daha iyi görmek için biraz daha derinlere dalmamız gerekir.

Bir parçacığın durumunun, onun konumunun ve momentumunun belirtilmesi olduğu klasik mekanikte, bu durumun bir sayılar grubu tarafından belirtildiğini düşünebiliriz. Olağan üç boyutlu uzaydaki bir parçacık için altı sayı vardır: üç yönün her birinde konumu ve üç yönün her birinde momentumu. Kuantum mekaniğinde, durum bir dalga fonksiyonu tarafından belirtilir, bu da bir sayılar grubu olarak düşünülebilir. Bu sayıların işi bize, gerçekleştirdiğimizi tasavvur ettiğimiz herhangi bir gözlem ya da ölçüm için, belli bir sonuç elde etme olasılığını vermektir. Bu yüzden, doğal olarak, gerek duyduğumuz sayıların olasılıklar olduğunu düşünebilirsiniz: Bayan Kedinin divanda görülme olasılığı, masanın altında görülme olasılığı, vb.

Doğrusu şu ki, gerçeklik böyle işlemez. Dalga fonksiyonları aslında dalga biçimindedir: tipik bir dalga fonksiyonu uzay ve zamanda dalgalanır, tıpkı bir havuzun yüzeyindeki dalgacıklar gibi. Yalnızca iki olası sonucun bulunduğu –"divanda" ya da "masanın altında"– basit örneğimizde bu o kadar da bariz değildir, ama gerçek bir kedinin gerçek bir odadaki konumları gibi sürekli olası sonuçlar içeren gözlemleri düşündüğümüzde, bu daha açık bir hale gelir. Dalga fonksiyonu bir havuzun yüzeyindeki dalgalar

gibidir, tek farkla, bir gözlemin olası tüm sonuçlarının uzayındaki bir dalgadır – örneğin bir odadaki olası tüm konumlar.

Bir havuzdaki dalgayı gördüğümüzde, suyun düzeyi havuzun hareketsiz olduğu durumundaki düzeyinden sabit bir şekilde yüksek değildir; bazen yükselir, bazen alçalır. Dalgayı matematiksel olarak betimlememiz gerekseydi, havuzun her noktasına bir *genlik* atardık –suyun yer değiştirdiği yükseklik– ve bu genlik de bazen artı bazen de eksi olurdu. Kuantum mekaniğindeki dalga fonksiyonları da aynı şekilde işler. Bir gözlemin her sonucu için, dalga fonksiyonu bir sayı atar, buna da genlik adını veririz ve bu da artı ya da eksi olabilir. Dalga fonksiyonunun bütünü olası her gözlemsel sonuç için belli bir genlikten oluşur; bunlar, klasik mekanikte konum ve momentumun durumu belirttiği gibi, kuantum mekaniğinde durumu belirten sayılardır. Bayan Kedinin masanın altında olması için bir genlik vardır, bir başka genlik de divanda olması için.

Bu düzende yalnızca bir tek sorun vardır: önemsediğimiz olasılıklardır ve bir şeyin gerçekleşmesinin olasılığı hiçbir zaman eksi bir sayı olamaz. Bu yüzden belli bir gözlemsel sonuçla ilişkili genliğin bu sonucu elde etmenin olasılığına eşit olduğu doğru olamaz – bunun yerine, genliğin ne olduğunun bilinmesi durumunda, olasılığı hesaplamanın bir yolu olmalı. Ne mutlu ki, hesaplama gayet kolaydır! Olasılığı elde etmek için genliğin karesini alırsınız.

(X'i gözlemleme olasılığı) = (X'e atanan genlik)^2

Böylece Bayan Kedinin dalga fonksiyonu onu divanda gözlemleme olasılığına 0,5 genlik atarsa, onu orada görme olasılığımız $(0,5)^2 = 0,25$ ya da yüzde 25 olur. Ama can alıcı olan, genliğin –0,5 de olabilecek olmasıdır ve o zaman da tamamen aynı sayıyı elde ederiz: $(–0,5)^2 = 0,25$. Bu gereksiz bir fazlalık parçası gibi görülebilir –aynı fiziksel duruma karşılık gelen iki farklı genlik– ama kuantum mekaniğinde durumların evrilmesinde kilit önemde bir rol oynadığı görülür.[4]

[4] Hâlâ bir teknik ayrıntının çapaklarını almaya çalışıyoruz – gerçek aslında (şu haliyle) bu betimlemenin inanmanızı sağladığından bir adım daha karmaşık. Kuantum genlikleri gerçekte *karmaşık sayılardır*, bu da iki sayının

GİRİŞİM

Dalga fonksiyonlarının gözlemlerin olası sonuçlarına eksi genlikler atayabileceğimizi bildiğimize göre, artık neden farklı sonuçlara doğrudan olasılıklar atamak yerine dalga fonksiyonları ve üst üste gelmeden söz ettiğimiz sorusuna dönebiliriz. Nedeni girişimdir ve o eksi sayılar da girişimin nasıl ortaya çıktığı konusunda can alıcı bir rol oynar – iki (sıfırlanmayan) genliği bir araya getirip sıfır elde edebiliriz, genlikler hiç eksi olmazsa, bunu yapamayız.

Bunun nasıl işlediğini görmek için, kedi dinamiği modelimizi biraz karmaşıklaştıralım. Bayan Kedinin üst kattaki yatak odasından çıktığını tasavvur edin. Evde önceki dolaşmaları üzerine gözlemlemelerimizden, bu kuantum kedisinin nasıl çalıştığını bir hayli biliyoruz. Biliyoruz ki, alt kata indiğinde, kaçınılmaz olarak sonunda kendini ya divanda ya da masanın altında buluyor, başka bir yerde değil. (Yani nihai durumu divanda olmakla masanın altında olmanın üst üste bindiği bir dalga fonksiyonu.) Ama diyelim ki, aynı zamanda üst kattaki yatak odasından alt kattaki dinlenme yerlerinden birine giderken, izlediği iki güzergâh var: ya karnını doyurmak için yemek kabına uğruyor ya da pençelerini keskinleştirmek için tırmalama tahtasına. Gerçek dünyada tüm bu olasılıklar klasik mekanik tarafından uygun biçimde betimlenir, ama bizim ideal düşünce deneyi dünyamızda kuantum etkilerinin önemli bir rol oynadığını tasavvur ediyoruz.

Şimdi fiilen ne gözlemlediğimize bakalım. Deneyi iki farklı yoldan gerçekleştireceğiz. Önce, Bayan Kedinin alt kata indiğini gördüğümüzde, yemek kabı ile tırmalama tahtası arasında hangi güzergâhı seçtiğini görmek için sessizce arkasından sokuluyoruz. Aslında her iki olasılığın üst üste gelmesini betimleyen bir dalga fonksiyonu var, ama gözlem yaptığımızda hep kesin bir sonuç elde

---

bileşimi oldukları anlamına gelir: bir gerçek sayı, bir de sanal sayı. (Sanal sayılar, negatif bir gerçek sayının karekökünü aldığınızda elde ettiğiniz sayıdır; yani "sanal iki" eksi dördün karekökü dür, vb.) Karmaşık bir sayı $a + bi$ olarak görülen sayılardır, burada a ve b gerçek sayılardır, "i" de eksi birin karekökü dür. Belli bir seçenekle ilişkili genlik $a + bi$ ise, bunun karşılık geldiği olasılık sadece $a^2 + b^2$ olur ve bunun sıfırdan büyük ya da eşit olduğu kesindir. Bu ilave aracın kuantum mekaniğinin işleyişinde aşırı önemli olduğu konusunda bana inanmalısınız – ya da kuramın matematiksel ayrıntılarından bazılarını öğrenmeye başlayın. (Aslında, vaktinizi geçirmenin çok daha verimsiz yollarını da gösterebilirim.)

ederiz. Olabildiğince sessiz oluyoruz ki onu rahatsız etmeyelim; isterseniz, casus kameralar ya da lazer sensörler yerleştirdiğimizi tasavvur edebiliriz. Yemek kabına mı tırmalama tahtasına mı gittiğini belirlemek için seçilen teknolojinin ne olduğunun kesinlikle bir önemi yok; önemli olan, gözlememiz.

İki seferin birinde kâseye, birinde de tahtaya gittiğini gözlemliyoruz. (İşleri olabildiğince basit tutmak için ya kaba ya da tahtaya gittiğini, ama hiçbir zaman ikisine birden gitmediğini kabul ediyoruz.) Kuşkusuz herhangi bir gözlem dalga fonksiyonunu ortaya çıkartmaz; yalnızca o sefer kaba mı yoksa tahtaya mı uğradığını söyler. Ama bu deneyi çok fazla tekrarladığımızı tasavvur edin, böylece olasılıkların ne olduğu konusunda güvenilir bir fikre sahip olabiliriz.

Ama orada durmuyoruz. Ardından divana ya da masaya doğru devam etmesine izin veriyoruz ve yerleşmesini bekledikten sonra, nerede bitirdiğine bakıyoruz. Yine, olasılıkları hesaplayabileceğimiz kadar çok deneyi tekrar ediyoruz. Bu kez anladığımız, tırmalama tahtası ya da yemek kabına uğramasının bir şey fark ettirmediği; her iki durumda da önce tahtayı ya da kabı ziyaret etmiş olmasından bağımsız olarak, deneylerin tam yarısını divanda, yarısını da masanın altında bitiriyor. Anlaşılan, yoldaki ara durak çok bir şey fark ettirmiyor; yolda hangi seçeneği gözlemlemiş olursak olalım, nihai dalga fonksiyonu divan ile masaya eşit olasılıklar atıyor.

Ardından eğlenceli kısım geliyor. Bu kez, Bayan Kediyi yol boyunca gözlememeyi seçiyoruz; tırmalama tahtası ya da kaba uğramalarının hesabını tutmuyoruz. Divana ya da masanın altına yerleşene kadar bekliyoruz, sonra da nerede olduğuna bakıyoruz ve dalga fonksiyonu tarafından atanan nihai olasılığı yeniden oluşturuyoruz. Ne bulmayı bekleriz?

Klasik mekaniğin güdümündeki bir dünyada, ne göreceğimizi biliriz. Onu gözetlediğimizde, gözlemlerimizin Bayan Kedinin davranışını etkilememesine özen gösterdik ve hangi güzergâhı benimserse benimsesin, deneylerin yarısında onu divanda, diğer yarısında da masanın altında bulduk. Açıkça, yolda ne yaptığına bakmamış olsak da bunun bir öneminin olmaması gerekir – her koşulda son adım için eşit olasılıklar elde ederiz, bu yüzden ara safhayı gözlememiş olsak da, eşit olasılıklar elde etmemiz gerekir.

Ama böyle olmaz. Kedimizin gerçekten bir kuantum nesnesi olduğu bu ideal düşünce deneyinde gördüğümüz bu olmaz. Tırmalama tahtasına mı yoksa yemek kabına mı uğradığını gözlemlemediğimizde, deneylerin %100'ünü divanda tamamladığını görüyoruz! Onu hiçbir zaman masanın altında bulmuyoruz – nihai dalga fonksiyonu bu olası sonuca sıfır genlik atıyor. Anlaşılan, hepsine inanacaksak, casus kameralarımızın varlığı kedinin dalga fonksiyonlarını dramatik şekilde değiştirmiştir. Olasılıklar çizelgede sıralanmıştır.

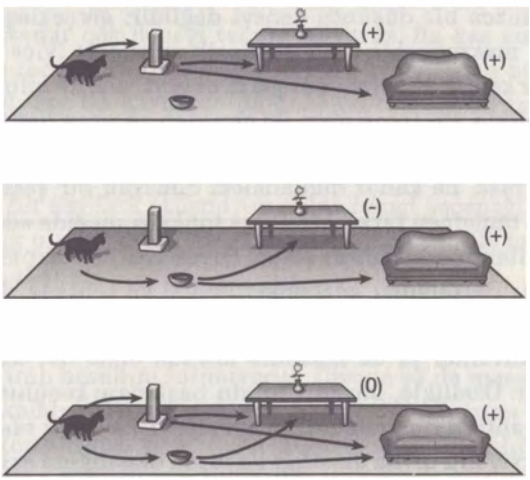
BAYAN KEDİNİN NEREYE GİTTİĞİNİ GÖRÜYORUZ	NİHAİ OLASILIKLAR
Tırmalama tahtası	%50 divan, %50 masa
Yemek kabı	%50 divan, %50 masa
Bakmıyoruz	%100 divan, %0 masa

Bu yalnızca bir düşünce deneyi değildir; gerçekleştirilmiştir. Kesinlikle makroskobik olan ve klasik sınırlarla iyice tanımlanmış gerçek kedilerle değil, "çift yarık deneyi" olarak bilinen deneydeki fotonlarla. Bir foton olası iki yarıktan geçer ve hangi yarıktan geçtiğini gözlemezsek belli bir nihai dalga fonksiyonu elde ederiz, ama gözlersek, ne kadar müdahaleci olmayan bir şekilde ölçüm yapsak da tamamen farklı bir dalga fonksiyonu elde ederiz.

Olup bitenin açıklaması şöyle. Bayan Kedinin kapta mı yoksa tahtada mı durduğunu gözlemlediğimizi ve tahtada durduğunu gördüğümüzü tasavvur edelim. Bunu yaptıktan sonra, eşit olasılıklarla divanda ya da masanın altında olma üst üste binmesine evrilir. Özellikle, Bayan Kedinin başlangıç koşuluna ve kimi kedisel kuantum dinamiklerinin ayrıntılarına bağlı olarak, nihai dalga fonksiyonu divan olasılığı ile masa olasılığına eşit *artı* genlikler atar. Şimdi, diğer ara adımı düşünelim, yani yemek kabında durduğunu. Bu durumda, nihai dalga fonksiyonu masaya eksi bir genlik, divana da artı genlik atar –eşit ama zıt sayılar– böylece olasılık kesinlikle aynı olur.[5]

[5] Herhangi bir olaylar silsilesinin iki nihai olasılığa artı ya da eksi genlikler ataması, düşünce deneyimizin amaçları doğrultusunda yaptığımız bir kabuldür, kuantum mekaniğinin derin bir özelliği değil. Gerçek dünyadaki bir problemde, incelenen sistemin ayrıntıları genliklerin kesin değerini belirleyecektir, ama şimdilik ellerimizi bu kadar da bulaştırmıyoruz. Aynı zamanda

Ama onu tırmalama tahtası/yemek kabı sapağında gözlemlemezsek, o zaman (düşünce deneyimizin ışığında) bu ara adımda iki olasılığın üst üste binmesindedir. Bu durumda, kuantum mekaniğinin kuralları bize iki olası katkıyı nihai dalga fonksiyonuna eklememizi söyler – biri tırmalama tahtasına uğradığı güzergâhtan, diğeri de yemek kabına uğradığından. Her iki durumda da divanda sonuçlanmanın genlikleri artı sayılardır, bu yüzden birbirlerini güçlendirirler. Ama masanın altında sonuçlanmanın genlikleri iki ara durum için birbirlerinin tersidir – bu yüzden ikisini topladığımızda, tam olarak birbirlerini götürürler. Birer birer, Bayan Kedinin iki olası ara güzergâhı bize masanın altında sonuçlanacağına dair sıfır olmayan bir olasılık vermiştir, ama iki güzergâha da izin verildiğinde (çünkü hangisini yeğlediğini görmedik), iki genlik girişmiştir.



Şekil 57: Bayan Kedinin dalga fonksiyonu için alternatif evrimler. Üstte, tırmalama tahtasında durduğunu gözlemliyoruz, sonrasında da masaya ya da divana gidebilir, her ikisinin de genliği artıdır. Ortada, yemek kabına gittiğini gözlemliyoruz, sonrasında da masaya ya da divana gidebilir, ama bu kez masanın genliği eksidir (yine de artı bir olasılık). Altta, ara yolculuğunu gözlemlemiyoruz, bu yüzden iki olasılığın genliklerini topluyoruz. Masa için elimizde sıfır genlik kalıyor (çünkü artı ve eksi katkılar birbirlerini götürüyor) divan içinse artı genlik.

bu örnekteki genliklerin sayısal değerinin artı ya da eksi 0,7071 olduğuna da dikkat edin – bu, karesi alındığında, size 0,5 veren sayıdır.

İşte bu yüzden dalga fonksiyonlarının eksi sayılar da içermesi gerekiyor ve böylece dalga fonksiyonlarının olasılıkların hesabını tutmak için kayıt araçları değil de "gerçek" olduğunu biliyoruz. Elimizde, tek tek olasılıkların artı olduğu, ama nihai dalga fonksiyonunun iki ara adımdan katkılar aldığı ve bunların sonunda birbirlerini götürdüğü bir vaka var.

Klasik eğitim almış önyargılı perspektifimizden bunun ne kadar derin sonuçları olduğunu idrak edebilmemiz için durup derin bir nefes alalım. Deneyin herhangi belli bir anı için şu soruyu sormak isteyebiliriz: Bayan Kedi yemek kabında mı yoksa tırmalama tahtasında mı durdu? Kabul edilebilir tek yanıt şudur: Hayır. Hiçbirini yapmadı. Her iki olasılığın üst üste binmesindeydi, bunu da biliyoruz, çünkü her iki olasılık da sonunda, nihai yanıtın genliğine can alıcı katkılarda bulundu.

Gerçek kediler çok sayıda molekülden oluşan karışık makroskobik nesnelerdir ve dalga fonksiyonları da klasik "uzayda konum" mefhumumuza benzeyen bir şeyler etrafında çok sert bir şekilde yoğunlaşmış olma eğilimindedir. Ama mikroskobik düzeyde, tüm bu dalga fonksiyonları, üst üste binme ve girişim lafları çarpıcı biçimde gösterilebilir hale gelir. Kuantum mekaniği bize garip görünür, ama doğanın işleyişi böyledir.

DALGA FONKSİYONUNUN ÇÖKÜŞÜ

Bu tartışmanın insanları –haklı olarak– yanlış yöne sürükleyen yanı, gözlemin oynadığı can alıcı roldür. Kedinin tırmalama tahtası/yemek kabı kavşağında yaptıklarını gözlemlediğimizde, nihai durum için bir yanıt alırız; böyle bir gözlemde bulunmadığımızda, çok farklı bir yanıt elde ederiz. Fiziğin böyle işlememesi gerekir; dünyanın, biz gözlemlesek de gözlemlemesek de doğa yasalarına göre evrilmesi gerekir. Ama ne "gözlem" olarak kabul edilir ki? Yol boyunca izleme kameraları yerleştirip, bantlara hiç bakmazsak, bu gözlem sayılır mı? (Evet, sayılır.) Ve biz gözlemimizi gerçekleştirirken, tam olarak ne oldu?

Bunlar önemli bir sorular demeti oluşturuyor ve yanıtlar da tamamen açık değil. Fizik topluluğunda, kuantum mekaniğinde neyin gerçekten bir gözlem (ya da "ölçüm") oluşturduğu ya da bir gözlem gerçekleştiğinde nelerin olduğu konusunda bir uzlaşma

mevcut değil. Bu "ölçüm sorunudur" ve zamanlarını kuantum mekaniğini yorumlamayla geçiren insanların birincil odaklanma noktasıdır. Piyasada böylesi birçok yorum var ve biz de burada ikisini tartışacağız: "Kopenhag yorumu" olarak bilinen aşağı yukarı standart resim ve (bana) biraz daha saygıdeğer ve gerçeğe uygunmuş gibi görünen, itici bir şekilde "çoklu dünyalar yorumu" olarak adlandırılan görüş. Önce Kopenhag'a bakalım.[6]

Kopenhag yorumu, birçok açıdan kuantum mekaniğinin isim babası olan Niels Bohr'un bu yorumu 1920'lerde Kopenhag'daki enstitüsünde geliştirdiği için böyle adlandırılmıştır. Bu perspektifin gerçek tarihi karmaşıktır ve kuşkusuz başka bir kuantum öncüsü olan Werner Heisenberg'in büyük ölçüde sağladığı girdiler de işin içine karışmıştır. Ama şu anki amaçlarımız açısından tarih, Kopenhag görüşünün ders kitaplarında standart resim olarak kazınmış olan statüsü kadar can alıcı önemde değildir. Her fizikçi önce bunu öğrenir, sonra diğer seçenekler üzerinde düşünmeye başlar (ya da başlamaz).

Kuantum mekaniğinin Kopenhag yorumunun, ifade edilmesi kolay olduğu kadar, hazmedilmesi de güçtür: Bir kuantum sistemi ölçüme tâbi tutulduğunda, dalga fonksiyonu *çöker*. Yani dalga fonksiyonu derhal çeşitli olası gözlemsel sonuçların üst üste binmesini betimlemekten, fiilen ölçülen sonuca %100 olasılık, başka her şeye %0 olasılık atayan, tamamen farklı bir dalga fonksiyonuna geçer. Sadece bir tek olası gözlemsel sonuca yoğunlaşan bu tür bir dalga fonksiyonu "özdurum" (*eigenstate*) olarak bilinir. Sistem bir kez bu özduruma girdiğinde, aynı türden gözlemlerde bulunmayı sürdürebilir ve (bir şeyler sistemi özdurumdan çıkartıp başka bir üst üste binmeye sokmazsa) aynı sonucu elde edersiniz. Gözlem gerçekleşirken sistemin hangi özduruma düşeceğini kesinlikle söyleyemeyiz; bu doğası gereği stokastik (rastgele) bir süreçtir ve yapabileceğimizin en iyisi, farklı sonuçlara bir olasılık atamaktır.

---

[6] 1997'de kuantum mekaniği konusunda uzman araştırmacıların katıldığı bir atölye çalışması sırasında, Max Tegmark katılımcıların yeğledikleri kuantum mekaniği yorumu üzerine çok bilimdışı olduğunu kabul ettiği bir anket düzenledi. Kopenhag yorumu on üç oyla birinci geldi, çoklu dünyalar yorumu da sekiz oyla ikinci oldu. Dokuz başka oy da diğer seçenekler arasında dağıldı. En ilginci, on sekiz oy da "hiçbiri/kararsız" çıktı. Üstelik bunlar da uzmandı.

Bu fikri Bayan Kedinin öyküsüne uygulayabiliriz. Kopenhag yorumuna göre, yemek kabında mı yoksa tırmalama tahtasında mı durduğunu gözlemleme tercihimizin, ne kadar sinsice yaklaşmış olursak olalım, onun dalga fonksiyonunda dramatik bir etkisi olur. Bakmadığımızda, iki olasılığın eşit genliklerle üst üste binmesindedir; sonra divana ya da masaya ilerlediğinde, ara adımların her birinin katkılarını ekleriz ve girişim olduğunu görürüz. Ama yol boyunca onu gözlemlemeyi seçersek, dalga fonksiyonunu çökertiriz. Tırmalama tahtasında durduğunu görürsek, bu gözlem gerçekleşir gerçekleşmez artık üst üste binme olmayan bir durumdadır: %100 tırmalama tahtası, %0 yemek kabıdır. Genliğin tersine dönmüş haliyle yemek kabında durduğunu gördüysek de aynısı olur. Her halükârda, girişimde bulunulacak bir şey kalmamıştır ve dalga fonksiyonu, ona yolculuğunu divanda ya da masanın altında bitirmesi için eşit olasılıklar veren bir hale gelmiştir.[7]

Bu, öykümüz için hem iyi hem de kötü haberdir. İyi haber, verilerle uyuşuyor olmasıdır. Dalga fonksiyonlarının –gözlemleme stratejimiz ne kadar az müdahaleci olursa olsun– her gözlem yaptığımızda çöktüğünü ve gözlemlediğimiz sonuca %100 olasılık atayan özdurumlarla sonuçlanacağını tasavvur edersek, fizikte bilinen çeşitli kuantum olgularının tümünü başarılı bir şekilde açıklamış oluruz.

Kötü haber, öykünün çok sınırda bir anlam ifade ediyor olmasıdır. Ne "gözlem" sayılır? Kedinin kendisi ya da cansız bir nesne gözlemde bulunabilir mi? Kuşkusuz *bilinçlilik* olgusunun fiziğin temel yasalarında can alıcı bir rol oynadığını söylemek istemiyoruz, değil mi? (Hayır istemiyoruz.) Bir de sözü edilen çöküş gerçekten de aniden mi oluyor yoksa kademeli ama çok hızlı mı?

---

[7] Peki bir izleme kamerası yerleştirip kaydı izlemezsek ne olur? Kayıtlara bakıp bakmamamız bir şey değiştirmez, bu yüzden Bayan Kediyi masanın altında gözlemleme şansımız olacaktır. Kopenhag yorumunda, "kamera dalga fonksiyonunu çökerten klasik bir ölçüm aracıdır," deriz. Çoklu dünyalar yorumunda, görecek olduğumuz gibi, açıklama "kameranın dalga fonksiyonu kedinin dalga fonksiyonuyla dolanır bu yüzden alternatif tarihler eşevresizleşir," olur.

TERSİNMEZLİK

Aslında, kuantum mekaniğinin Kopenhag yorumu konusunda aklımızı kurcalayan "gözlemlemeyi" tamamen farklı, ayrı doğa yasaları gerektiren türden bir doğal olgu olarak ele almasıdır. Klasik mekanikte, olagelen her şey Newton yasalarına göre evrilen sistemler tarafından açıklanabilir. Ama dalga fonksiyonunun çöküşünü dış görünüşüyle alırsak, kuantum mekaniği tarafından betimlenen bir sistem iki tamamen farklı türden kurala göre evrilir:

Bakmadığımızda, bir dalga fonksiyonu pürüzsüz ve öngörülebilir bir şekilde evrilir. Newton'ın yasalarının klasik mekanikte oynadığı rol yerini kuantum mekaniğinde kesinlikle benzeşen bir şekilde işleyen *Schrödinger denklemi*ne bırakır. Sistemin herhangi bir zamandaki durumu verildiğinde, Schrödinger denklemini kullanarak bunu geleceğe ve geçmişe güvenilir bir şekilde evrilmesini sağlayabiliriz. Evrim bilgiyi korur ve tamamen tersinirdir.

Gözlemlediğimizde, dalga fonksiyonu çöker. Çöküş düzenli ya da kusursuz bir öngörülebilirlikte değildir ve bilgi korunmaz. Herhangi bir sonuçla ilişkili genlik (karesi) bize dalga fonksiyonunun yalnızca bu sonuca odaklanmış bir duruma çökeceğinin olasılığını verir. İki farklı dalga fonksiyonu bir gözlem yapıldıktan sonra tamamen aynı duruma gayet çökebilir; dolayısıyla dalga fonksiyonunun çöküşü tersinir değildir.

Çılgınlık! Ama işliyor. Kopenhag yorumu yararlı yaklaştırmalardan başka bir şey değilmiş gibi görünen kavramları daha derinde yatan gerçeklere götürür –gerçekten kuantum mekanik bir "sistemle" özünde klasik bir "gözlemciyi" ayırt eder– ve bu kategorilerin gerçekliğin temel mimarisinde can alıcı bir rol oynadıklarını tasavvur eder. Çoğu fizikçi, her gün araştırmalarında kuantum mekaniğini kullananlar bile Kopenhag yorumunun dilini kullanarak ve oluşturduğu bilmecelerle kendilerini üzmemeyi yeğleyerek bir güzel yollarına devam ediyorlar. Başkaları, özellikle de kuantum mekaniğinin temelleri üzerine dikkatlice düşünenler, daha iyisini yapmamız gerektiğini düşünüyor. Ne yazık ki şimdilik bu daha iyi anlayışın ne olduğu konusunda bir güçlü fikir birliği mevcut değil.

Birçokları için, kusursuz öngörülebilirliğin çözülmesi kuantum mekaniğinin kaygı uyandıran özelliklerinden biriydi. (Eins-

tein da bunlardan biriydi; "Tanrı'nın evrenle zar atmadığı," yolundaki yakınmasının kökeni buydu.) Kopenhag yorumu doğruysa, kuantum dünyasında Laplace'ın şeytanı diye bir şey yoktu; en azından, dünyada gözlemciler varsa yoktu. Gözlemleme eylemi dünyanın evrimine gerçekten rastgele bir unsur katmıştı. *Tamamen* rastgele değil – bir dalga fonksiyonu bir şeyin gözlemlenmesine çok yüksek bir olasılık, başka bir şeyin gözlemlenmesine de çok düşük bir olasılık verebilirdi. Ama *indirgenemez* biçimde rastgele, yani elimize geçirmemiz durumunda sonuçları kesinlikle öngörmemizi sağlayacak bir bilgi parçasının eksikliği değildi söz konusu olan.[8] Klasik mekaniğin şanı kısmen saat gibi güvenilirliğinde yatar – Laplace'ın şeytanı mevcut olmasa bile ilkesel olarak mevcut olabileceğini biliyorduk. Kuantum mekaniği bu umudu yıkar. İnsanların olasılığın fizik yasalarına temelden girdiği fikrine alışmaları uzun zaman almıştır ve bu kavram birçoklarını hâlâ rahatsız eder.

Zaman oku üzerine sorularımızdan biri, istatistiksel mekanik tarafından betimlenen makroskobik sistemlerin tersinmezliğini mikroskobik fizik yasalarının görünürdeki tersinirliğiyle nasıl uzlaştırabileceğimizdir. Ama şimdi, kuantum mekaniğine göre, mikroskobik fizik yasaları da illaki tersinir değillermiş gibi görünüyor. Dalga fonksiyonunun çökmesi fizik yasalarına içkin bir zaman oku sokan bir süreçtir: Dalga fonksiyonları çöker, ama çökenler kalkınmaz. Bayan Kediyi gözlemler ve divanda olduğunu görürsek, ölçümü yapmamızın hemen öncesinde bir özdurumda (%100 divanda) olduğunu biliriz. Ama ölçüm yapmadan *önce* hangi durumda olduğunu bilemeyiz. Bu bilgi, anlaşılan, yok olmuştur. Tüm bildiğimiz dalga fonksiyonunun kedinin divanda olması için sıfır olmayan bir genliğinin olmuş olması gerektiğidir – ama ne

[8] Birçokları kuantum mekaniğinin kurallarını bunun artık doğru olmayacağı şekilde değiştirmeyi düşünmüştü; önerdikleri "saklı değişken kuramları" adı verilen, standart kuantum mekaniği çerçevesinin ötesine giden şeylerdir. 1964'te, kuramsal fizikçi John Bell dikkat çekici bir kuramı kanıtlamıştı: Hiçbir yerel saklı değişkenler kuramının kuantum mekaniğinin öngörülerini tekrarlaması mümkün değildir. Bu insanların yerel olmayan kuramları –uzak olayların birbirlerini aniden etkilediğini söyleyenleri– araştırmasını engellemedi. Ama gerçekten tutunamadılar; modern fizikçilerin büyük çoğunluğu kuantum mekaniğinin, nasıl yorumlayacağını henüz bilmiyor olsa da, doğru olduğuna inanır.

kadar olduğunu ya da başka olasılıklar için genliğin ne olduğunu bilmeyiz.

Bu yüzden, dalga fonksiyonunun çökmesi –kuantum mekaniği üzerine düşünmenin yolu gerçekten de buysa– içkin bir zaman oku tanımlar. Bu "o" zaman okunu, İkinci Yasada ortaya çıkan ve geçmiş ile gelecek arasındaki tüm çeşitli makroskobik farklılıkların sorumluluğunu üzerine yıktığımız termodinamik oku bir şekilde açıklamakta kullanılabilir mi?

Muhtemelen hayır. Her ne kadar tersinmezlik zaman okunun kilit özelliklerinden biriyse de bütün tersinmezlikler eşit yaratılmış değildir. Dalga fonksiyonlarının çökmesi olgusunun, kendi başına Geçmiş Varsayımını nasıl açıklayabileceğini görmek zordur. Unutmayın, entropinin neden yükseldiğini anlamak zor değildir; anlaması zor olan en başta neden düşük olduğudur. Dalga fonksiyonunun çökmesinin bu sorunun çözümünde doğrudan bir yardımı yokmuş gibidir.

Diğer yandan, dalga fonksiyonunun çöküşünün içkin tersinmezliği, sorunu kendi başına doğrudan çözemiyor olsa da kuantum mekaniğinin nihai açıklamada bir çeşit rol oynaması çok muhtemeldir. Ne de olsa, fizik yasalarının temelde ruhen kuantum mekaniğine göre olduğuna inanıyoruz. Kuralları koyan ve bize dünyada neyin yapılıp neyin yapılamayacağını söyleyen kuantum mekaniğidir. Evrenimizin neden Büyük Patlama yakınlarında o kadar düşük bir entropiye sahip olduğunu nihayet anlamaya başladığımızda, bu kuralların devreye gireceğini düşünmek tamamen doğaldır. Bu yolculuğun bizi tam olarak nereye götüreceğini bilmiyoruz, ama yol boyunca kimi araçların yararlı olduklarının anlaşılacağını kestirecek kadar şey biliyoruz.

BELİRSİZLİK

Dalga fonksiyonları tartışmamız can alıcı bir özelliğin üzerini örttü. Dalga fonksiyonunun yapmayı tasavvur edebileceğimiz bir gözlemin olası tüm sonuçlarına bir genlik atayacağını söyledik. Düşünce deneyimizde, kendimizi her seferinde tek bir tür gözlemle –kedinin konumu– ve yalnızca iki olası sonuçla kısıtladık. Gerçek bir kedi, temel bir parçacık, bir yumurta ya da herhangi başka bir nesnenin sonsuz sayıda olası konumu vardır ve her durumda ilgili dalga fonksiyonu her bir olasılığa bir genlik atar.

Ama daha da önemlisi, konumdan başka gözlemleyebileceğimiz şeyler de vardır. Klasik mekanikteki deneyimizi anımsayarak, kedinin konumu yerine momentumunu gözlemlemiş olmayı tasavvur edebiliriz. Bu da gayet olasıdır; kedinin durumu ölçmeyi tasavvur edebileceğimiz olası her momentuma bir genlik atayan bir dalga fonksiyonu tarafından betimlenir. Böylesi bir ölçüm yapıp bir sonuç elde ettiğimizde, dalga fonksiyonu bir "momentum özdurumuna" çöker ve burada yeni durum, yalnızca gözlemlemiş olduğumuz o momentuma sıfır olmayan bir genlik atar.

Ama bu doğruysa, diye düşünebilirsiniz, kediyi hem momentum hem de konumun kesinlikle belirlendiği ve böylece klasik bir duruma sokmamızı engelleyen nedir ki? Diğer bir deyişle, neden rastgele bir dalga fonksiyonuna sahip bir kedi alıp, belli bir değere çökecek şekilde konumunu gözlemleyip sonra da belli bir değere çökecek şekilde momentumunu gözlemleyemiyoruz? O zaman elimizde hiçbir belirsizliğe yer vermeyecek şekilde tamamen belirlenmiş bir şey olur.

Yanıt, aynı anda hem tek bir konum değerine hem de tek bir momentum değerine odaklanan bir dalga fonksiyonu olmadığıdır. Doğrusu, böylesi bir durum için umutların hayli boş olduğu anlaşılır: dalga fonksiyonu tek bir konum değerine odaklanırsa, farklı momentumlar için genlikler, tüm olasılıklara olabildiğince geniş bir şekilde yayılırlar. Tersi de geçerlidir: dalga fonksiyonu tek bir momentuma odaklanırsa, tüm olası konumlara geniş bir şekilde yayılır. Bu yüzden bir nesnenin konumunu gözlemlersek, momentumunun ne olduğu üzerine tüm bilgiyi kaybederiz ya da tersi.[9]

[9] Burada telaffuz edebileceğimiz biraz daha güçlü bir ifade vardır. Klasik mekanikte, durum hem konum hem de hızla belirtilir, bu yüzden kuantum dalga fonksiyonunun olası her konum ve hız kombinasyonuna olasılıklar atayacağını tahmin edebilirsiniz. Ama işler böyle yürümez. Her olası konum için genlikleri belirtirseniz, işiniz bitmiştir – tüm kuantum durumunu tamamen belirlemişsinizdir. Peki hıza ne olur? Şöyle ki, aynı dalga fonksiyonunu olası her hız için genlik cinsinden yazabilir, konumu tamamen resmin dışında bırakabilirsiniz. Bunlar iki ayrı durum değildir; tamamen aynı durumu yazmanın iki farklı yoludur. Doğrusu, iki seçenek arasında çeviri yapmak için bir tarif vardır ve meslekte "Fourier dönüşümü" olarak bilinir. Olası her konum için genlik verildiğinde, olası her hız için genliği belirlemek üzere bir Fourier dönüşümü uygulayabilirsiniz ya da tam tersi. Özellikle, dalga fonksiyonu belli bir konuma (ya da hıza) odaklanmış bir özdurumsa, Fourier dönüşümü olası tüm hızlara (ya da konumlara) tamamen yayılmış olacaktır.

(Konumu tam olarak değil de yalnızca yaklaşık olarak ölçersek, momentum üzerine belli bir bilgiyi saklayabiliriz; gerçek dünyadaki makroskobik ölçümlerde de aslında olan budur.)

Heisenberg Belirsizlik İlkesinin gerçek anlamı da budur. Kuantum mekaniğinde, bir parçacığın konumunu "kesinlikle bilmek" mümkündür – daha doğrusu, parçacığın, onu belli bir noktada bulma olasılığının %100 olduğu bir konum özdurumunda olması mümkündür. Benzer şekilde, momentumun da ne olduğunu "kesinlikle bilmek" mümkündür. Ama hiçbir zaman konum ve momentumu aynı anda kesinlikle bilmemiz mümkün değildir. Bu yüzden klasik mekaniğin bir sisteme atfedeceği özellikleri –hem konumu hem de momentumu– ölçeceğimiz zaman, sonucun ne olacağını hiçbir zaman kesinlikle söyleyemeyiz. Bu belirsizlik ilkesidir.

Belirsizlik İlkesi, dalga fonksiyonunun farklı olası konum, momentum ya da (genellikle) her iki değeri için belli bir yayılma olduğunu ifade eder. Ne türden bir sisteme bakıyor olursak olalım, özelliklerini ölçmeye kalkıştığımızda kaçınılmaz bir kuantum öngörülemezliği vardır. İki gözlemlenebilirlik birbirini tamamlar: dalga fonksiyonu konuma odaklandığında, momentumda yayılır ya da tersi. Kuantum mekaniğinin klasik sınırlarında iyice betimlenen gerçek makroskobik sistemler kendilerini hem konum hem de momentumda küçük miktarda yayılmaların bulunduğu bir uzlaşma durumunda bulurlar. Yeterince büyük sistemlerde, belirsizlik hiç fark edemeyeceğimiz kadar görece küçük olur.

Gerçekte "nesnenin konumu" ya da "nesnenin momentumu" diye bir şeyin olmadığını aklınızda tutun – yalnızca gözlemlerin olası sonuçlarına genlikler atayan bir dalga fonksiyonu vardır. Yine de genellikle *kuantum dalgalanmalarının* diline dönmeye direnemeyiz; nesnenin tek bir konumunu belirleyemediğimizi, çünkü belirsizlik ilkesinin bunu biraz etrafta dalgalanmaya zorladığını söyleriz. Bu dayanılmaz bir dilsel biçimlendirmedir ve bunu kullanmaktan kaçınacak kadar biçimci olmayacağız, ama gerçekte ne olduğunu hassasiyetle yansıtmaz. Her biri etrafta dalgalanan bir konum ve bir momentum olduğundan değil; bir dalga fonksiyonu olduğu ve bunun hem konum hem de momentum olarak belirlenemeyecek olduğundan.

İlerideki bölümlerde kuantum mekaniğinin tek tek parçacıklar hatta kedilerden çok daha büyük sistemlerdeki uygulamaları-

nı keşfedeceğiz: kuantum alan kuramı ve aynı zamanda kuantum kütleçekim. Ama kuantum mekaniğinin çerçevesi hepsinde aynıdır. Kuantum alan kuramı, kuantum mekaniğinin özel görelilikle evliliğidir ve çevremizde gördüğümüz parçacıkları, dünyayı oluşturan, altta yatan daha derin yapının gözlemlenebilir özellikleri –kuantum alanları– olarak açıklar. Belirsizlik ilkesi her parçacığın konum ve momentumunu, hatta parçacıkların tam sayısını kesinlikle belirlememizi engelleyecektir. Bu boş uzayda bile ortaya çıkıp kayboluveren "sanal parçacıkların" kökenidir ve nihayetinde bizi kara deliklerin Hawking ışınımına götürecektir.

Anlamadığımız bir şey kuantum kütleçekimdir. Genel görelilik dünyada işlediğini gördüğümüz şekliyle kütleçekimin aşırı başarılı bir betimlemesini sağlar, ama kuram tamamen klasik bir temel üzerine inşa edilmiştir. Kütleçekim uzay-zamanın eğikliğidir ve ilkesel olarak uzay-zaman eğikliğini istediğimiz hassasiyette ölçebiliriz. Neredeyse herkes bunun, bizatihi uzay-zamanın, farklı eğiklik miktarlarına farklı genlikler atayan bir dalga fonksiyonu tarafından betimlendiği daha eksiksiz bir kuantum kütleçekim kuramının sadece bir yaklaştırımı olduğuna inanır. Hatta, eksiksiz evrenlerin, tıpkı sanal parçacıklar gibi ortaya çıkıp kayboluverdiği de doğru olabilir. Ama eksiksiz bir kuantum kütleçekim kuramı oluşturma çabasının önünde hem teknik hem de felsefi muazzam engeller vardır. Bu engelleri aşmak çok sayıda etkin fizikçinin tam zamanlı işidir.

EVRENİN DALGA FONKSİYONU

Dalga fonksiyonunun çökmesiyle ilişkili kavramsal sorunlara yaklaşmanın bir hayli doğrudan yolu var: sadece bunun olduğunu inkâr etmek ve dalga fonksiyonunun olağan pürüzsüz evriminin dünya üzerine bildiğimiz her şeyi açıklamaya yeteceğinde ısrarcı olmak. Bu –basitliğiyle sert, sonuçlarıyla uzak erimli– yaklaşım kuantum mekaniğinin "çoklu dünyalar yorumu" adıyla bilinir ve Kopenhag yorumunun en büyük rakibidir. Nasıl işlediğini anlamak için, geri dönüp kuantum mekaniğinin belki de en derin özelliğine bakmamız gerekecek: dolanıklık.

Dalga fonksiyonunu tanıttığımızda, tek bir nesneden (kedi) oluşan çok minimalist bir fiziksel sistem düşündük. Şüphesiz ki

bunun ötesine geçmeyi, çok parçalı –belki de bir kedi ve bir köpek içeren– sistemleri ele almayı isteriz. Klasik mekanikte, bu bir sorun oluşturmaz; bir nesnenin durumu konumu ve momentumuyla betimleniyorsa, iki nesnenin durumu da sadece iki nesnenin tek tek durumlarıdır – iki konum ve iki momentum. Bu yüzden bir kedi ile bir köpeğin doğru kuantum mekaniği betimlemesinin sadece biri kedi biri de köpek için iki dalga fonksiyonu olduğunu farz etmek, dünyanın en doğal şeyidir.

Ama böyle olmaz. Kuantum mekaniğinde, düşündüğünüz sistemi oluşturan ne kadar fazla ayrı ayrı parça olursa olsun, *yalnızca tek bir dalga fonksiyonu* vardır. Bütün evreni ve içerdiği her şeyi düşünsek bile yine de gereksiz yere "evrenin dalga fonksiyonu" olarak adlandırılacak bir tek dalga fonksiyonu olacaktır. İnsanlar, aşırı debdebeli görünmemek için her zaman böyle konuşmak istemezler, ama eninde sonunda kuantum mekaniğinin işleyişi budur. (Kimileri de sırf debdebeli olsun diye böyle konuşur.)

Sistemimiz bir kedi ve bir köpekten, Bayan Kedi ve Bay Köpekten oluştuğunda işlerin nasıl yürüdüğüne bakalım. Önceki gibi, Bayan Kediye baktığımızı tasavvur edelim. Onu bulabileceğimiz yalnızca iki yer var: divan veya masanın altı. Bay Köpeği gözlemleyebileceğimiz de iki yer olduğunu tasavvur edelim: oturma odası ya da bahçe. Her nesnenin kendi dalga fonksiyonu olduğu yolundaki ilk (ve yanlış) tahmine göre, Bayan Kedinin yerini 'masanın altında ve divanda'nın üst üste binmesiyle betimleyeceğiz, Bay Köpeğin yerini de ayrı olarak 'oturma odasında ve bahçede'nin üst üste binmesi olarak betimleyeceğiz.

Ama bunun yerine kuantum mekaniği bizden, tüm sistem – kedi ve köpek– için olası bütün seçenekleri düşünmemizi ve her ayrı olasılığa bir genlik atamamızı ister. Birleşik sistem için, "Kedi ve Köpeği aradığımızda, ne görürüz?" sorusunun olası dört yanıtı vardır. Şöyle özetlenebilirler:

(masa, oturma odası)

(masa, bahçe)

(divan, oturma odası)

(divan, bahçe)

Burada, ilk girdi Bayan Kedinin nerede olduğunu, ikinci de Bay Köpeğin nerede olduğunu söyler. Kuantum mekaniğine göre, evrenin dalga fonksiyonu bu dört olasılığın her birine belli bir genlik atar, biz de bunların karesini alıp o seçeneği gözlemlemenin olasılığını buluruz.

Kedi ile köpeğin yerlerine ayrı ayrı genlik atamak ile birleşik yerlerine atamak arasında ne fark olduğunu düşünebilirsiniz. Yanıt *dolanıklıktır* – bütünün herhangi bir altkümesinin özellikleri ile diğer altkümelerin özellikleri arasında güçlü bir karşılıklı ilişki olabilir.

DOLANIKLIK

Kedi/köpek sisteminin dalga fonksiyonunun (masa, bahçe) ve (divan, oturma odası) olasılıklarına sıfır genlik atadığını tasavvur edelim. Bu, şematik olarak sistemin şu biçimde olacağı anlamına gelir:

(masa, oturma odası) + (divan, bahçe)

Bu, kedinin masanın altında, köpeğin de oturma odasında olması ve kedinin divanda, köpeğin de bahçede olması için sıfır olmayan bir genlik olduğu anlamına gelir. Bunlar bu özel durum için izin verilen iki olasılıktır ve bunların eşit genliklere sahip olduklarını tasavvur edelim.

Şimdi soralım: yalnızca Bayan Kediye bakarsak, ne görmeyi bekleriz? Bir gözlem dalga fonksiyonunu her biri eşit şekilde %50 olasılığa sahip iki olasılıktan birine (masa, oturma odası ya da divan, bahçe) çökertir. Bay Köpeğin ne yaptığıyla hiç ilgilenmezsek, Bayan Kediyi masanın altında ya da divanda görmek için olasılıkların eşit olduğunu söyleriz. Bu anlamda, biz bakmadan önce Bayan Kedinin nerede olacağı konusunda hiçbir fikrimizin olmadığını söylemek doğru olur.

Şimdi, bunun yerine Bay Köpeğe baktığımızı tasavvur edelim. Yine, her iki (masa, oturma odası veya divan, bahçe) olasılığı için eşit bir şekilde %50 olasılık var, bu yüzden Bayan Kedinin ne yaptığına bakmazsak, biz bakmadan önce Bay Köpeğin nerede olacağı konusunda hiçbir fikrimizin olmadığını söylemek doğru olur.

İşte kritik nokta burada: biz bakmadan önce Bay Köpeğin nerede olacağına dair hiçbir fikrimiz yoksa da ilk olarak Bayan Kediye bakarsak, bu gözlem tamamlandığında Bay Köpeğin nerede olacağını, ona hiç bakmadan bile kesinlikle biliriz! Dolanıklığın sihri buradadır. Diyelim ki Bayan Kediyi divanda gördük. Bu, dalga fonksiyonunun başlangıç biçimine bakıldığında, (divan, bahçe) olasılığına çöktüğü anlamına gelir. Dolayısıyla bakarsak Bay Köpeğin bahçede olduğunu göreceğimizi (başlangıçtaki dalga fonksiyonu konusunda haklı olduğumuzu kabul edersek) kesinlikle biliriz. Bay Köpeğin dalga fonksiyonunu ona bakmadan bile çökerttik. Ya da daha doğrusu, evrenin dalga fonksiyonunu çökerttik ve bunun, Bay Köpekle doğrudan etkileşime geçmeden bile Bay Köpek için önemli sonuçları oldu.

Bu size şaşırtıcı gelebilir ya da gelmeyebilir. Umuyorum ki, dalga fonksiyonlarının neye dair olduğu konusunda o kadar açık ve ikna edici olmuşuzdur ki, dolanıklık olgusu görece doğal görünmüştür. Öyle olmalıdır da; bu kuantum mekaniği mekanizmasının ayrılmaz bir parçasıdır ve bir dizi zekice deney gerçek dünyada da geçerliliğini göstermiştir. Yine de dolanıklık –görünürdeki değerine bakıldığında– göreliliğin, tam anlamıyla yasanın sözcük değeriyle olmasa da, ruhuyla uyumsuz gibi duran sonuçlara yol açabilir. Vurgulayalım: kuantum mekaniği ile özel görelilik arasında gerçek bir uyumsuzluk yoktur (kütleçekimin devreye girdiği genel görelilikte durum farklıdır). Ama aralarında insanları tedirgin eden bir gerginlik vardır. Özellikle, işler ışık hızından daha hızlı oluyor gibidir. Bu "işler"in ne olduğu ve "oluyor"un ne anlama geldiğini biraz derinliğine incelerseniz, aslında kötü bir şeyin olmadığını görürsünüz – hiçbir şey aslında ışıktan hızlı hareket etmemiş ve hiçbir şeyin ışık konisinin dışına herhangi bir gerçek bilgi iletilmemiştir. Yine de bu insanları yanlış tarafa yönlendirir.

EPR PARADOKSU

Kedi ve köpeğimize geri dönelim ve onların yukarıda betimlenen kuantum durumunda olduklarını tasavvur edelim, (masa, oturma odası) ve (divan, bahçe) üst üste binmesinde. Ama şimdi Bay Köpeğin, bahçedeyse, orada durmayıp, kaçtığını tasavvur edelim. Aynı zamanda, çok serüvenci ve gelecekte, Mars'taki uzay kolonisine

düzenli roket uçuşlarının olduğu zamanda yaşıyor. Bay Köpek –oturma odasında değil, bahçede başladığı seçenekte– uzay-alanına kaçıyor, gizlice bir rokete binip Mars'a uçuyor ve tüm bu zaman boyunca tamamen gözlem dışı kalıyor. Ancak liseden mezun olduktan sonra uzay kuvvetlerine katılıp Kırmızı Gezegene göreve gönderilen eski dostu Billy'nin kucağına atlayınca fiilen gözlemleniyor ve dalga fonksiyonunu çökertiyor.

Diğer bir deyişle, gözlemlediğimiz, kedi/köpek sistemini betimleyen dalga fonksiyonu Schrödinger denklemine göre

(masa, oturma odası) + (divan, bahçe)
konumundan
(masa, oturma odası) + (divan, Mars)
konumuna düzgün bir biçimde evrilmiş olduğudur.

Burada olanaksız hiçbir şey yok – düşük olasılıklı belki, ama bu evrimin gelişimi sırasında hiç kimse bir gözlemde bulunmadıysa, bu üst üste binmenin olduğu dalga fonksiyonunu elde ederiz.

Ama sonuçlar bir şekilde şaşırtıcıdır. Billy Mars'ta beklenmedik bir şekilde Bay Köpeğin uzay gemisinden fırladığını görünce, bir gözlemde bulunur ve dalga fonksiyonu çöker. Başlangıçta dalga fonksiyonunun ne olduğunu, bir kedi ve köpek dolanıklığı içerdiğini biliyorduysa, Billy *aniden* Bayan Kedinin masanın altında değil, divanda olduğunu bilir. Dalga fonksiyonu (divan, Mars) olasılığına çökmüştür. Şimdi Bayan Kedinin durumu hiç kimse onunla etkileşime girmiş olmasa bile biliniyor olmakla kalmaz; Mars ile Yerküre arasında ışık hızında bile yolculuk etmek saniyeler sürecek olmasına karşın, bu aniden belirlenmiş gibidir.

Dolanıklığın bu özelliği –uzayın kuantum dalga fonksiyonu tarafından betimlenen dalga fonksiyonunun uzayda "aniden" değişiyor gibi olduğu olgusu, özel göreliliğin dersinin, "aniden" sözünün ne anlama geldiğinin eşsiz bir tanımının olmadığını söylediği varsayılmasına karşın– insanların aklını bir hayli karıştırmıştır. Albert Einstein'ın da aklını karıştırmış olmalı ki, 1935'te Boris Podolsky ve Nathan Rosen'la bir araya gelip şimdi artık "EPR paradoksu" adı verilen bu garip olasılığa dikkat çeken bir makale yazdı.[10] Ama bu aslında hiç de bir paradoks değildir; sezgilerimize

[10] Einstein, Podolsky ve Rosen (1935).

meydan okumuş olabilir, ama herhangi bir deneysel ya da kuramsal gerekliliğe değil.

Muazzam uzaklıklara yayılmış olan bir dalga fonksiyonunun görünürde anında çöküşünün önemli özelliği, aslında herhangi bir bilgiyi ışıktan hızlı yayamıyor olmasıdır. Bizim aklımızı karıştıran, Billy köpeği gözlemlemeden önce, Bayan Kedinin burada, yeryüzünde herhangi belli bir konumda olmamasıdır – onu divanda ya da masanın altında gözlemleme olasılığımız 50/50'dir. Billy Bay Köpeği gözlemlediğinde, onu divanda görme olasılığımız %100 olur. Ne olmuş yani? Aslında Billy'nin böyle bir gözlemde bulunup bulunmadığını bilmiyoruz – tek bildiğimiz, Bay Köpeği arasak, onu oturma odasında bulacak olduğumuz. Billy'nin keşfinin bizim açımızdan bir fark oluşturması için, gelip bize bunu söylemesi ya da bir radyo mesajı göndermesi gerekir – öyle ya da böyle, bizimle geleneksel, ışıktan yavaş yollarla iletişim kuracaktır.

İki çok uzak alt-sistem arasındaki dolanıklık bize esrarengiz görünür, çünkü sezgisel "yerellik" mefhumumuzu ihlal eder – şeyler yalnızca yakındaki başka şeyleri doğrudan etkileyebilmelidir, çok uzakta olanları değil. Dalga fonksiyonları öyle işlemez; bütün evreni tek seferde betimleyen bir dalga fonksiyonu vardır, o kadar. Bu arada, gözlemlediğimiz dünya bir tür yerelliğe uyar – dalga fonksiyonu tüm uzayda aniden çökse bile aslında bu özellikten ışıktan hızlı sinyaller göndermek için yararlanamayız. Diğer bir deyişle: sizinle karşılaşan ve yaşamınızı etkileyen şeyler söz konusu olduğunda, uzağınızda değil, hemen yakınınızda olmaları gerektiği hâlâ doğrudur.

Diğer yandan, bu zayıf yerellik mefhumunun bile gerçekten kutsal bir ilke olmasını beklemeyelim. Bunu izleyen bölümde biraz kuantum kütleçekimden söz edeceğiz, orada dalga fonksiyonu bizatihi uzay-zamanın farklı kurulumlarına uygulanır. O bağlamda, "nesneler ancak yakın olduklarında birbirlerini etkileyebilirler," gibi bir fikir herhangi bir mutlak anlama sahip olmaktan çıkar. Bizatihi uzay-zaman mutlak değildir, yalnızca farklı kurulumlarda olmak için farklı genliklere sahiptir – bu yüzden "iki nesne arasındaki uzaklık" mefhumu biraz bulanıklaşır. Bunlar henüz tam anlamıyla anlaşılmayı bekleyen fikirlerdir, ama her şeyin nihai kuramı olasıdır ki çok dramatik bir şekilde yerel-dışılık sergileyecektir.

ÇOKLU DÜNYALAR, ÇOKLU AKILLAR

Kuantum mekaniğinin Kopenhag görüşünün önde gelen rakibi *çoklu dünyalar yorumu* adı verilendir. "Çoklu dünyalar" aslında çok açık bir fikir için korkutucu ve yanıltıcı bir isimdir. Fikir şudur: "dalga fonksiyonunun çöküşü" diye bir şey yoktur. Kuantum mekaniğinde durumların evrimi tıpkı klasik mekanikte olduğu gibi işler; belli bir durumun geçmişini ve geleceğini kusursuz sadakatle öngörmemizi sağlayan belirlenimci bir kurala uyar – Schrödinger denklemine. Olan biten de bu kadardır.

Bu iddianın sorunu, dalga fonksiyonun her seferinde çöktüğünü *görüyor* ya da hiç olmazsa çöküşün etkilerini gözlemliyor gibi olmamızdır. Bayan Kediyi, onu divanda ya da masanın altında bulmamız için eşit genliklerin olduğu bir kuantum durumunda ayarladığımızı tasavvur edebiliriz; sonra onu ararız ve masanın altında buluruz. Hemen sonrasında yine bakarsak, %100 olasılıkla her sefer onu masanın altında bulacağız; ilk gözlem (bu tür şeylerden söz etmenin olağan yoluyla) dalga fonksiyonunu bir masa-özdurumuna çökertmiştir. Ve bu düşünce tarzının deneysel sonuçları vardır ve her biri de gerçek deneylerde başarıyla sınanmıştır.

Çoklu dünyalar taraftarlarının yanıtı sadece bunu yanlış düşündüğünüz olur. Özellikle, *kendinizi* evrenin dalga fonksiyonunda yanlış tanımlıyorsunuz. Ne de olsa, siz de fiziksel dünyanın bir parçasısınız ve dolayısıyla siz de kuantum mekaniğinin kurallarına tabisiniz. Kendinizi klasik bir gözlemleme aracı olarak belirlemeniz doğru değildir.

Bu yüzden, diye devam eder bu yeni öykü, Bayan Kediyi (divan) ve (masa) üst üste binmesi olarak betimleyen bir dalga fonksiyonuyla başlamamamız gerekir; betimlemeye kendi kurulumunuzu da eklemeniz gerekir. Özellikle, sizin betimlemenizin bağlantılı özelliği, Bayan Kedinin konumu üzerine ne gözlemlemiş olduğunuzdur. Olabileceğiniz üç olası durum vardır: onu divanda görmüş olabilirsiniz, onu masanın altında görmüş olabilirsiniz ve henüz bakmamış olabilirsiniz. Başlangıç için, evrenin dalga fonksiyonu (ya da en azından burada betimlediğimiz kısmı) Bayan Kediye divanda ve masanın altında olması için eşit genlikler verir, bu arada siz de henüz bakmamış olma eşsiz konumundasınızdır. Bu şematik olarak şöyle gösterilebilir:

(divan, daha bakmadınız) + (masa, daha bakmadınız).

Şimdi nerede olduğuna bakıyorsunuz. Kopenhag yorumunda, dalga fonksiyonunun çöktüğünü söylerdik. Ama çoklu dünyalar yorumunda, sizin kendi durumunuzun Bayan Kedininkiyle dolandığını söyleriz ve birleşik sistem bir üst üste binmeye doğru evrilir:

(divan, onu divanda görüyorsunuz) + (masa, onu masanın altında görüyorsunuz).

Çökme yok; dalga fonksiyonu pürüzsüzce evriliyor ve "gözlemleme" sürecinde özel hiçbir şey yok. Dahası, tüm süreç tersinir – nihai durum verildiğinde, özgün durumu eşsiz biçimde geri döndürmek için Schrödinger denklemini kullanabiliriz. Bu yorumda aslen kuantum mekaniği zaman oku yok. Birçok nedenle, bu Kopenhag görüntüsü tarafından sağlanana oranla tamamen daha zarif ve tatminkâr bir görüntüdür.

Bu arada, sorun açık olmalıdır: nihai durumda siz iki farklı sonucun üst üste binmesi içindesiniz. Bundaki zorluk, kuşkusuz, sizin hiçbir zaman böylesi bir üst üste binme içinde olduğunuzu *hissetmemenizdedir*. Bir kuantum üst üste binmesi durumundaki bir sistemi gerçekten gözlemlemiş olsaydınız, gözlem sonrasında hep belli bir sonucu gözlemlemiş olduğunuza *inanmış* olacaktınız. Diğer bir deyişle, çoklu dünyalar yorumunun sorunu, bizim gerçek dünya deneyimimizle uyumlu gibi gözükmemesindedir.

Ama o kadar aceleci olmayalım. Sözünü ettiğimiz bu "siz" de kim? Doğru: çoklu dünyalar yorumu evrenin dalga fonksiyonunun yukarıda gösterilen, sizin kediyi divanda görmeniz için bir genlik, masanın altında görmeniz için de başka bir genlikle üst üste binmeye evrildiğini söylüyor. Can alıcı adım burada: görme, algılama ve inanma işini yapan "siz" o üst üste binme değil. Doğrusu, "siz" o seçeneklerden biri ya da diğerisiniz. Yani şimdi iki farklı "siz" var, biri Bayan Kediyi divanda görüyor, diğeri de onu masanın altında ve her ikisi de samimiyetle kendi dalga fonksiyonlarında *mevcutlar*. Aynı önceki anıları ve deneyimleri paylaşıyorlar –kedinin yerini gözlemlemeden önce, her açıdan aynı kişiydiler– ama şimdi, bir daha hiç etkileşime girmemek üzere iki farklı "dalga fonksiyonu dalı" durumunda ayrıldılar.

Bunlar söz konusu olan "çoklu dünyalar"dır ama verilen adın bir şekilde yanıltıcı olduğunun da açıkça bilinmesi gerekir. İnsanlar kimi zaman çoklu dünyalar yorumuna, ciddiye alınmak için fazla abartılı olduğu itirazında bulunurlar – dalga fonksiyonunun çöktüğüne inanmak zorunda kalmayalım diye ortaya atılan tüm o sonsuz sayıda, farklı "paralel gerçeklikler filan. Bu aptalcadır. Bir gözlem yapmamız öncesinde, evren olası her gözlemsel sonuca belli bir genlik atamış olan tek bir dalga fonksiyonu tarafından betimleniyordu; gözlem sonrasında, evren olası her gözlemsel sonuca belli bir genlik atayan tek bir dalga fonksiyonu tarafından betimlenir. Öncesinde ve sonrasında, evrenin dalga fonksiyonu evreni betimleyen durum uzayı içinde sadece belli bir noktadır ve bu durum uzayı büyümemiş ya da küçülmemiştir. Yeni "dünyalar" aslında yaratılmamıştır; dalga fonksiyonu hâlâ aynı miktarda bilgi içermektedir (ne de olsa, bu yorumda, evrimi tersinirdir). Yalnızca, öyle bir evrilmiştir ki, bizler gibi bireysel bilinçli varlıkları betimleyen dalga fonksiyonunda daha çok sayıda ayrı altküme vardır. Kuantum mekaniğinin çoklu dünyalar yorumu doğru olabilir de olmayabilir de ama buna "vay canına, ne kadar da çok dünya," diyerek itiraz etmek işe yanlış başlamaktır.

Çoklu dünyalar yorumu ilk olarak Bohr, Heisenberg, Schrödinger ya da kuantum mekaniğinin ilk günlerindeki devlerden biri tarafından ortaya atılmamıştır. 1957'de, Princeton'da John Wheeler'ın yanında çalışan bir yüksek lisans öğrencisi olan Hugh Everett III tarafından önerilmiştir.[11] O sıralarda (ve bunu izleyen on yıllarda) egemen görüş Kopenhag yorumuydu, bu yüzden Wheeler bariz olanı yaptı: Everett'i, yeni perspektifi Niels Bohr ve diğerleriyle tartışmak üzere Kopenhag'a bir yolculuğa gönderdi. Ama yolculuk başarılı olmadı – Bohr kesinlikle ikna olmadı, fizikçi topluluğunun geri kalanı da Everett'in fikirlerine çok az ilgi gösterdi. Akademik fizikçiliği bırakıp savunma bakanlığında çalışmaya başladı ve sonunda kendi bilgisayar şirketini kurdu. 1970'te, kuramsal fizikçi Bryce DeWitt (o da Wheeler'la birlikte, kuantum mekaniğini kütleçekime uygulamanın öncülerinden biriydi) çoklu dünyalar yorumu davasını sırtlandı ve bunun fizikçi-

[11] Everett (1957). Farklı bakış açılarından görüşler için, *bkz.* Deutsch (1997), Albert (1992) ya da Ouelette (2007).

ler arasında popülerleşmesine yardımcı oldu. Everett fikirlerinin fizikçi topluluğu içinde rağbet görmeye başlamasını görecek kadar yaşadı, ama etkin araştırmacılığa dönmedi; 1982'de, elli bir yaşında ani bir kalp krizi sonucu yaşamını kaybetti.

EŞEVRESİZLİK*

Avantajlarına karşın, kuantum mekaniğinin çoklu dünyalar yorumu tam anlamıyla bitmiş bir ürün değildir. Henüz yanıtlanmamış, derin ve kavramsal olanlardan –neden bilinçli gözlemciler üst üste binmelerle değil de dalga fonksiyonunun ayrık dallarıyla tanılanıyorlar?– kupkuru teknik olanlara –bu biçimlendirmede "olasılıkların genliklerin karesine eşit olduğu" kuralını nasıl doğrularız?– bazı sorular var. Bunlar hakiki sorular, yanıtları da pek açık değil, bu da çoklu dünyalar yorumunun evrensel kabul görmemesinin sebeplerinden biri. Ama son on yıllarda çok büyük ilerleme kaydedildi, özellikle de *eşevresizlik* adı verilen kuantum mekaniğine özgü bir olgu konusunda. Her ne kadar çoklu dünyalar yorumu böylesi çöküşlerin yalnızca görüntüde böyle olduğunu savunsa da dalga fonksiyonlarının neden çökermiş *gibi göründüğünün* anlaşılmasında eşevresizliğin yardımcı olabileceği konusunda –çok az fikir birliği olmasına karşın– çok ümit var.

Evrenin küçük bir parçasının –örneğin beyninizin– durumu, onun artık girişime, bir şeyi gerçekten "kuantum" yapan olguya tabi olmayacağı kadar daha geniş çevrenin parçalarıyla dolanık duruma girince eşevresizlik gerçekleşir. Bunun nasıl olduğu konusunda bir fikre sahip olabilmek için Bayan Kedi ve Bay Köpeğin dolanık durumu örneğine geri dönelim. Eşit genlikli iki seçenek var: kedi masanın altında ve köpek oturma odasında ya da kedi divanda ve köpek bahçede:

(masa, oturma odası) + (divan, bahçe)

Birisi Bay Köpeğin durumunu gözlemlerse, nasıl dalga fonksiyonunun (Kopenhag diliyle) çöktüğünü ve Bayan Kediyi belli bir durumda bıraktığını gördük.

Ama şimdi farklı bir şey yapalım: Bay Köpeği kimsenin gözlemlemediğini, onu öylece görmezden geldiğini tasavvur edin. Fi-

* *Decoherence* –çn.

ilen, Bayan Kedi ile Bay Köpek arasındaki dolanıklık üzerine bilgiyi bir kenara atıyor ve sadece kendi kendimize soruyoruz: kendi başına Bayan Kedinin durumu nedir?

Yanıtın, evvelce köpek karışıklığını işin içine sokmamız öncesinde olduğu gibi, (masa) + (divan) biçiminde bir üst üste binme olduğunu düşünebiliriz. Ama bu pek de doğru değil. Sorun şu ki girişim –en başta kuantum genliklerini ciddiye almamız gerektiğine bizi ikna eden olgu– artık gerçekleşemez.

İlk girişim örneğimizde, Bayan Kedinin masanın altında olması genliğine iki katkı vardı: biri yemek kabından geçtiği seçenekten, biri de tırmalama tahtasında durduğundan. Ama sonuçta birbirlerini götüren iki katkının *kesinlikle aynı nihai seçeneğe* ("Bayan Kedi masanın altında") katkılar olması can alıcı önemdedir. Nihai dalga fonksiyonuna iki katkı yalnızca evrendeki her şey için gerçekten aynı seçeneği içeriyorlarsa girişecektir; farklı seçeneklere katkıda bulunuyorlarsa, farklılık bizatihi Bayan Kediyi değil de evrenin geri kalanını etkiliyorsa bile girişmeleri mümkün değildir.

Bu yüzden, Bayan Kedinin durumu Bay Köpeğin durumuyla dolanık duruma geldiğinde, Bay Köpekteki buna karşılık gelen bir değişiklik olmadan Bayan Kedinin durumunu etkileyen seçenekler arasında girişim olanaksız olur. Dalga fonksiyonuna bazı katkılar "Bayan Kedi masanın altında" seçeneğiyle girişemez, çünkü bu seçenek gözlemlenecek olanın tam anlamıyla bir tatmini değildir; yalnızca gerçekten dalga fonksiyonunda temsil edilen "Bayan Kedi masanın altında ve Bay Köpek oturma odasında" seçenekleriyle girişebilir.[12]

Dolayısıyla Bayan Kedi dış dünyayla dolanık da biz bu dolanıklığın ayrıntılarını bilmiyorsak, onun durumunu bir kuantum üst üste binmesi olarak düşünmek doğru değildir. Daha doğrusu, bunu farklı seçeneklerin olağan *klasik* bir dağılımı olarak düşünmemiz gerekirdi. Neyle dolanık olduğu üzerine bilgileri bir kenara

[12] Dolanıklığın bu öykü için ne kadar can alıcı olduğuna dikkat edin. Dolanıklık olmasaydı, dış dünya yine de mevcut olacaktı, ama Bayan Kedinin elindeki seçenekler dışarıda olanlardan tamamen bağımsız olacaktı. Bu durumda, Bayan Kediye kendi başına bir dalga fonksiyonu atfetmek tamamen uygun olurdu. Neyse ki, bu kuantum mekaniğinin biçimciliğini tek tek atomlara ve başka yalıtılmış basit sistemlere uygulayabilmemizin tek nedenidir. Her şey başka her şeyle dolanık değildir, yoksa dünyanın herhangi bir alt-sistemi hakkında pek bir şey söylemek mümkün olmazdı.

attığımız anda, Bayan Kedi artık gerçek bir üst üste binme değildir; düşünülebilir herhangi bir deney açısından, hangisi olduğunu bilmesek de bir durum ya da diğeridir. Girişim artık olanaksızdır.

Bu eşevresizliktir. Klasik mekanikte, bu konumun ne olduğunu bilmesek ve yalnızca çeşitli seçeneklere olasılıklar atayabiliyor olsak bile her nesnenin bir konumu vardır. Kuantum mekaniğinin mucizesi, artık "nesnenin olduğu yer" diye bir şeyin olmamasıydı; olası seçeneklerin gerçek eşzamanlı üst üste binmesindedir, girişimin gerçekliğini kanıtlayan deneyler sayesinde bunun doğru olması gerektiğini biliyoruz. Ama nesneyi betimleyen kuantum durumu dış dünyadan bir şeyle dolanıksa, girişim olanaksız hale gelir ve biz de şeylere bakmanın geleneksel klasik yoluna dönmüş oluruz. Bizim açımızdan, yapabileceğimizin en iyisi farklı seçeneklere bir olasılık atamak olsa da nesne ya bir durumda ya da diğerindedir – olasılıklar altta yatan gerçekliği değil, bilgisizliğimizi yansıtır. Evrenin belli bir altkümesinin kuantum durumu dünyanın geri kalanıyla dolanıklaşmamış gerçek bir üst üste binme temsil ediyorsa, bunun "eşevreli" olduğunu söyleriz; dışarıdan bir şeyle dolanıklaşıp üst üste binme bozulduysa, "eşevresiz" duruma geldiğini söyleriz. (Bu yüzden, çoklu dünyalar[1] görüşünde, izleme kameraları kurmak bir gözlem yapmak anlamına gelir; kedinin durumu kameraların haliyle dolanıklaşır.)

DALGA FONKSİYONUNUN ÇÖKÜŞÜ VE ZAMAN OKU

Çoklu dünyalar yorumunda, eşevresizlik dalga fonksiyonunun görünürdeki çöküş sürecinde açıkça can alıcı bir rol oynar. Önemli olan "bilinç" ya da "gözlemci"ye dair karmaşık makroskobik nesneler oldukları olgusu dışında özel ya da eşsiz bir şey olması değildir. Önemli olan herhangi bir karmaşık nesnenin *kaçınılmaz* olarak dış dünyayla etkileşime gireceği (ve dolayısıyla dolanıklaşacağıdır) ve bu dolanıklığın tam biçiminin kaydını tutabilmeyi tasavvur etmeyi umut etmek de mümkün değildir. Tek bir elektron gibi çok küçük, mikroskobik bir sistem söz konusu olduğunda, bunu yalıtabilir ve başka herhangi bir parçacığın haliyle dolanıklaşmadığı gerçek bir kuantum üst üste binmesine koyabiliriz, ama bir insan (ya da yeri gelmişken, gizli bir izleme kamerası) gibi karışık bir sistem için bu mümkün değildir.

Böylece algılamalarımızın durumunun Bayan Kedinin yerinin durumuyla dolanıklaştığına dair basit görüntü aşırı basite indirgenmiş olur. Öykünün can alıcı bir rolü bizim dış dünyayla dolanıklaşmamız tarafından oynanır. Bayan Kedinin gerçek bir kuantum üst üste binmesiyle, dünyanın geri kalanından dolanıklaşmamış olarak başladığını tasavvur edelim; ama biz, karmaşık yaratıklar olarak, muhtemelen belirtemeyeceğimiz şekillerde dış dünyayla derinden dolanıklaşmışızdır. Evrenin dalga fonksiyonu birleşik Bayan Kedi, biz ve dış dünya sisteminin tüm alternatif kurulumlarına ayrı ayrı genlikler atar. Bizim Bayan Kedi'nin yerini gözlemlememizin ardından, dalga fonksiyonu şuna benzer bir şeye evrilir:

(divan, onu divanda görüyorsunuz, dünya$_1$) + (masa, onu masanın altında görüyorsunuz, dünya$_2$)

Burada, son parça dış dünyanın her seferinde farklı olacak (bilinmeyen) kurulumunu betimler.

Bu durum üzerine hiçbir şey bilmediğimizden, dış dünyayla olan dolanıklığı ihmal ederiz ve Bayan Kedinin yeriyle kendi zihinsel algılarımızı tutarız. Bunlar açıkça karşılıklı ilişkilidir: Kedi divandaysa, onu divanda gördüğümüze inanırız vs; ama dış dünyanın kurulumunu ihmal ettikten sonra, artık gerçek bir kuantum üst üste binmesinde değilizdir. Doğrusu, niyet ve amaç açısından klasik görünen iki seçenek vardır: Bayan Kedi divanda ve onu divanda görüyoruz ya da masanın altında ve onu masanın altında görüyoruz.

Dalga fonksiyonunun farklı "dünyalara" dallanmasından söz ederken anlatmak istediğimiz bu. Bir gerçek kuantum üst üste binmesindeki küçük bir sistem, bir makroskobik ölçüm cihazı tarafından gözlemleniyor, ama cihaz dış dünyayla dolanıklaşmış; dış dünyanın durumunu ihmal ediyoruz ve elimizde iki klasik dünya seçeneği kalıyor. Her iki klasik seçeneğin bakış açısından, dalga fonksiyonu "çökmüştür," ama evrenin dalga fonksiyonundaki tüm bilgilerin korunduğu daha büyük bir farazi bakış açısından, durumda ani bir değişiklik gerçekleşmemiş, yalnızca Schrödinger denklemine göre pürüzsüz bir evrim yaşanmıştır.

Bu bilgiyi atma işi sizi biraz rahatsız edebilir, ama bir şekilde aşina da görünmelidir. Aslında tek yaptığımız, çeşitli mikro-du-

rumlara karşılık gelen makro-durumları tanımlamak için (klasik) istatistiksel mekanikte yaptığımız gibi, iri tanelendirmedir. Karışık dış ortamla dolanıklığımız üzerine bilgi, bir gaz kutusundaki her molekülün konum ve momentumu üzerine bilgiyle benzeşir – buna ihtiyacımız yoktur ve uygulamada bunun hesabını tutamayız, bu yüzden sadece makroskobik değişkenlere dayanan fenomenolojik bir betimleme yaratırız.

Bu anlamda, dalga fonksiyonları çöktüğünde ortaya çıkan tersinmezlik olağan termodinamiğin tersinmezliğiyle doğrudan benzeşir gibi gözükür. Altta yatan yasalar kusursuz tersinirliktedir, ama karışık gerçek dünyada birçok bilgiyi atarız ve sonuçta, makroskobik düzeyde görünürde tersinmez davranışlarla karşılaşırız. Kedimizin yerini gözlemlediğimizde ve kendi durumumuz onunkiyle dolanıklaştığında, süreci tersine çevirmek için aynı zamanda dolanık durumda bulunduğumuz dış dünyanın kesin durumunu da bilmeye gerek duyarız, ama artık bu bilgiyi atmış bulunduk. Bu bir kaşık sütün bir fincan kahve ile karıştığı durumla tamamen benzeşiktir; ilkesel olarak, karışımdaki bütün moleküllerin konum ve momentumlarının kaydını tutmuş olsaydık, süreci tersine çevirebilirdik, ama uygulamada yalnızca makroskobik değişkenlerin kaydını tutarız ve bu yüzden de tersinirlik kaybolur.

Bu eşevresizlik tartışmasında, gözlemlediğimiz sistemi (Bayan Kedi ya da kimi temel parçacıklar) alıp dünyanın geri kalanından gerçek bir kuantum üst üste binmesinde yalıtma becerimiz can alıcı bir rol oynar. Ama bu açıkça çok özel bir durum cinsidir, Termodinamiğin İkinci Yasasının kökenini tartışırken varsayımsal olarak başladığımız düşük entropili duruma çok benzer. Tamamen genel bir durum, en baştan itibaren küçük sistemimiz ile dış ortam arasında her türden dolanıklıklar içerecektir.

Bunların hiçbiri, eşevresizliğin çoklu dünyalar yorumuna uygulanmasının kuantum mekaniğinin yorum sorunlarının tümünü hemen çözmeyi başardığı izlenimini uyandırmayı amaçlamıyor. Ama doğru yönde bir adım gibi görünür ve istatistiksel mekanikten aşina olunan makroskobik zaman okuyla dalga fonksiyonlarının çöktüğünde görülen makroskobik zaman oku arasındaki önemli ilişkinin altını çizer. Belki de en güzeli, "bilinçli gözlemci" gibi kötü tanımlanmış mefhumların doğal dünyayı betimlediğimiz söz dağarcığından çıkartılmasına yardımcı olur.

Bunu akılda tutarak, temel fizik kuralları mikroskobik ölçeklerde tamamen tersinirmiş gibi konuşmaya geri döneceğiz. Bu su götürmez bir sonuç değildir, ama arkasında kimi sağlam savlar vardır – bu farklı bakış açısının sonuçlarını araştırmayı sürdürürken açık görüşlü olacağız. Bu da bizi, şüphesiz ki, başladığımız yere götürür: Büyük Patlama yakınlarındaki özel koşullar bağlamında, makroskobik ölçeklerde görünürdeki tersinirlik yoksunluğunu açıklama görevi. Bu sorunu ciddiye almak için, kütleçekim ve evrenin evrimi üzerine düşünmemizin vakti gelmiştir.

DÖRDÜNCÜ KISIM

MUTFAKTAN ÇOKLU EVRENE

12
KARA DELİKLER: ZAMANIN SONLARI

Zaman, eski dostum, yakında solacak
—Anne Sexton, "For Mr. Death Who Stands with His Door Open" (Kapısı Açık Bekleyen Bay Ölüm İçin)

Stephen Hawking Yeryüzünde iradesi en güçlü insanlardan biridir. 1963 yılında, yirmi bir yaşında Cambridge'de doktorasına hazırlanırken, motor nöron hastalığı teşhisi kondu. Öngörü iyi değildi ve Hawking'e çok zamanının kalmadığı söylendi. Bir süre düşündükten sonra, ileri bakmaya ve araştırma çabasını hızlandırmaya karar verdi. Sonucu hepimiz biliyoruz; artık yetmişli yaşlarına gelmiş olan Hawking, genel görelilik alanında Albert Einstein'dan bu yana en etkili bilim insanı olmuştur ve tüm dünyada fiziği kitlelere ulaştırma çabalarıyla kolayca tanınır.

Başka şeylerin yanında, Hawking yorulmak bilmez bir seyyahtır ve her yıl belli bir süreyi California'da geçirir. 1998'de Santa Barbara'daki California Üniversitesinin Kuramsal Fizik Enstitüsünde doktora sonrası araştırma görevlisiydim ve Hawking de yıllık ziyareti için geliyordu. Enstitü yöneticisi bana basit bir görev verdi: "Stephen'ı havaalanında karşıla."



Şekil 58: Kuantum mekaniği, kütleçekim ve entropi arasındaki ilişki üzerine en önemli ipucunu bize sağlayan Stephen Hawking.

Tahmin edebileceğiniz gibi, Stephen Hawking'i havaalanında karşılamak herhangi başka birini karşılayıp getirmekten farklıdır. Bir kere, onu gerçekten "getirmezsiniz;" tekerlekli sandalyesini taşımak üzere teçhiz edilmiş özel bir minübüs kiralarsınız, ki bunu sürmek için özel bir ehliyet gerekir – kuşkusuz benim sahip olmadığım bir ehliyet. Arabayı fiilen kullanacak olan onun lisansüstü asistanıydı; benim işim yalnızca onları minik Santa Barbara Havaalanında karşılamak ve minibüse götürmekti. "Onlardan" kastım, Hawking'in çevresiydi: bir lisansüstü asistanı (genellikle lojistik konularıyla ilgilenen bir fizik öğrencisi), başka lisansüstü öğrencileri, aile fertleri ve hemşireler grubu. Ama iş minibüsü gösterip kendi yoluma gitmekten ibaret değildi. Lisansüstü asistanının minibüsü kullanma hakkına sahip tek kişi olmasına karşın, Hawking minibüsün sürekli onunla kalması konusunda ısrarcı oldu ve aynı zamanda da asistanı kalacağı yere bırakmadan önce akşam yemeği için bir restorana gitmek istedi. Bu da hep birlikte restorana gittiklerinde, asistanı oraya buraya götürebilmem için benim de peşlerinden gitmem gerektiği anlamına geliyordu. Restoranın nerede olduğunu bir tek Hawking biliyordu, ama ses üreticisiyle konuşması yavaş bir süreçti; Hawking restoranı geçtiğimizi ve geri dönmemiz gerektiğini açıklarken, kalabalık bir yolun ortasında gergin anlar yaşadık.

Stephen Hawking olağanüstü handikaplara karşın dikkat çekici işler gerçekleştirmeyi başardı ve bunun nedeni de temelde çok açıktır: hiçbir şekilde uzlaşmayı kabul etmiyordu. Bir tekerlekli sandalyeye kısıldığı için yolculuk programını azaltmayacak, yanlış restoranda yemek yemeyecek, daha düşük nitelikli bir çay içmeyecek, hınzır espri anlayışını engellemeyecek ya da evrenin iç işleyişi üzerine daha az hırslı düşünmeyecektir. Ve bu karakter kuvveti onu, yaşamını sürdürmekte olduğu kadar bilimsel olarak da itiyordu.

1973'te, Hawking kızmıştı. Princeton'daki genç bir lisansüstü öğrencisi olan Jacob Bekenstein çılgınca bir şey öneren bir makale yazmıştı: kara delikler muazzam miktarda entropi içeriyorlardı.[1] O sıralarda Hawking kara delikler üzerinde dünyanın en önde gelen uzmanıydı ve (kendi sözcükleriyle) kendisinin daha önceki

[1] Bekenstein (1973).

kimi sonuçlarını kötüye kullandığını düşündüğü Bekenstein sinirlerini bozmuştu.[2] Bu yüzden Bekenstein'ın fikrinin ne kadar çılgınca olduğunu göstermeye koyuldu – bir kere, kara deliklerin entropisi varsa, ışınım salacaklarını kanıtlayabilirdiniz ve herkes de kara deliklerin kara olduğunu bilir!

Sonunda, şüphesiz ki, Hawking kendisi dahil herkesi şaşırttı. Kara deliklerin entropisi vardı ve kuantum mekaniğinin ince sonuçlarını hesaba kattığımızda, gerçekten de ışınım yayıyorlardı. Kişiliğiniz ne kadar inatçı olursa olsun, doğa yasaları sizin iradeniz karşısında eğilmez, Hawking de keşfinin radikal sonuçlarını kabul edecek kadar zekiydi. Sonunda fizikçilere kuantum mekaniği ile kütleçekim arasındaki ilişki üzerine en önemli ipucunu sağladı ve bize entropinin doğası üzerine derin bir ders verdi.

KARA DELİKLER GERÇEKTİR

Kara deliklerin gerçek dünyada var olduklarına inanmak için mükemmel nedenlerimiz var. Kuşkusuz, onları doğrudan göremiyoruz – Hawking onların kapkara olmadıklarını göstermiş olmasına karşın, hâlâ epey karalar. Ama çevrelerindeki şeylere neler olduğunu görebiliyoruz ve bir kara deliğin yakınındaki ortam o kadar eşsiz ki, birinin yerini belirlediğimizden emin olabiliyoruz. Kimi kara delikler çok büyük kütleye sahip yıldızların çökmesinden oluşuyor ve sık sık da bunların yörüngelerinde refakatçi yıldızlar oluyor. Refakatçiden gazlar kara deliğe doğru düşüyor ve muazzam sıcaklıklara ulaşıp cömert miktarlarda X-ışını salan bir toplanma diski oluşturuyor. Uydu gözlemevleri böylesi bir nesneden bekleyeceğiniz tüm nitelikleri gösteren X-ışını kaynakları bulmuştur: özellikle, uzayın çok küçük bir bölgesinden kaynaklanan büyük miktarlarda yüksek yoğunluklu ışınım. Astrofizikçiler bu gözlemler için kara deliklerden başka uygun açıklama bilmiyorlar.

Aynı zamanda galaksilerin merkezinde süperkütleli kara delikler vardır – güneşin kütlesinin bir milyon katı kütleye sahip kara delikler. (Yine de Güneşin kütlesinin ortalama yüz milyar katı kütleye sahip galaksilerin toplam kütlesinin çok küçük bir

[2] Hawking (1988), 104. Ya da Dennis Overby'ın (1991, 107) dediği gibi: "Cambridge'te Bekenstein'ın buluşu küçümsemeyle karşılanmıştı. Hawking hiddete kapılmıştı. Bunun saçmalık olduğunu biliyordu.

parçası.) Galaksi oluşumunun erken safhalarında, bu dev kara delikler bize yıldızsılar (kuasar) olarak görünen şiddetli bir anaforla çevrelerindeki maddeyi süpürdüler. Galaksi biraz oturduğunda, işler biraz sakinleşti ve yıldızsılar "söndü." Kendi galaksimizde, yaklaşık 4 milyon güneş kütlesine sahip bir kara deliğin gizlendiğinden neredeyse kesinlikle eminiz. Bir yıldızsının yakıcı ışınımı olmadan bile galaksi merkezindeki yıldızların gözlenmesi, görünmeyen bir nesnenin çevresinde sıkı elipsler şeklindeki yörüngelerde dolaştıklarını gösteriyor. Buradan, genel göreliliğin konu hakkında söyleyecek bir sözü varsa, bu yıldızların kara delikten başka bir şey olamayacak kadar yoğun ve kütleli bir şeyin kütleçekim alanına yakalanmış oldukları sonucuna varabiliyoruz.[3]

KARA DELİKLERİN SAÇI OLMAZ

Evrende gerçek kara delikleri aramak ne kadar eğlenceli olursa olsun, oturup bunlar hakkında düşünmek daha eğlencelidir.[4] Kara delikler kütleçekimle ilgilenen herkes için nihai düşünce deneyi laboratuvarıdır. Kara delikleri özel kılan da saflıklarıdır.

Gözlemler kara deliklerin varlığı konusunda bizi ikna etmişse de özellikleri hakkında ayrıntılı bilgi vermezler; bir kara deliğe yaklaşıp içine bakamayız. Bu yüzden kara deliklerin şu ya da bu özellikleri üzerine kendinden emin iddialarda bulunuyorsak, hep zımni bir kuramsal çerçeveden konuşuyoruz. Ne yazık ki, genel göreliliğin kuantum mekaniğinin ilkeleriyle nihai uzlaşması olduğu farz edilen kuantum kütleçekimi bilim insanları henüz tam anlamıyla anlamış değiller. Bu yüzden tüm sorularımızı kesinlikle yanıtlayacak tek bir doğru kurama sahip değiliz.

Bunun yerine, sıklıkla soruları üç farklı kuramsal çerçevenin birinin içinden soruşturuyoruz:

1. Einstein tarafından yazılan haliyle klasik genel görelilik. Bu elimizdeki en iyi eksiksiz kütleçekim kuramı ve tüm

---

[3] Yıldız kütlesine sahip kara deliklerin gözlemlenmesi üzerine bir tartışma için, *bkz.* Casares (2007); başka galaksilerdeki süperkütleli kara delikler için, *bkz.* Kormendy ve Richstone (1995). Galaksimizin merkezindeki kara delik "Sagittarius A*" olarak bilinen bir radyo dalgası kaynağıyla ilişkilidir; *bkz.* Reid (2008).
Peki, bazıları için bakmak daha da eğlencelidir.

bilinen deneysel verilerle tamamen uyumlu. Kuramı, doğru sorulmuş her sorunun (hesaplama becerimizin ötesinde olduğu durumlarda bile) kesin bir yanıtı olduğu anlamında kusursuz bir şekilde anlıyoruz. Ne yazık ki bu doğru değil çünkü kuantum mekaniği değil, tamamen klasik mekanik alanında.

2. Eğik uzay-zamanda kuantum mekaniği. Bu bölünmüş kişiliğe sahip bir çerçevedir. Evrendeki malzemenin içinde hareket ettiği ardalan olan uzay-zamanı genel göreliliğin kurallarına göre klasik olarak ele alırız. Ama "malzemeyi" dalga fonksiyonları tarafından betimleyerek kuantum mekaniğine göre ele alırız. Bu bir dizi gerçek-dünya problemini anlamaya çalışırken yararlı bir yaklaşımdır.
3. Kuantum kütleçekim. Her ne kadar sicim kuramı gibi yaklaşımlar umut vaat ediyorsa da doğru kuantum kütleçekim kuramını bilmiyoruz. Tamamen habersiz değiliz – göreliliğin nasıl işlediği, kuantum mekaniğinin nasıl işlediği konusunda bir şeyler biliyoruz. Bu, kuram tüm gelişmişliğiyle elimizde olmasa da kuantum kütleçekimin nihai sürümünde işlerin nasıl yürüyeceği konusunda kimi mantıklı tahminlerde bulunmak için genellikle yeterli olur.

Klasik genel görelilik bunlar arasında en iyi anlaşılmış olandır, kuantum kütleçekim de en az anlaşılmış olanı; ama kuantum kütleçekim gerçek dünyaya en yakın olandır. Eğik uzay-zamanda kuantum mekaniği hayli ortada bir yer işgal eder ve Hawking'in kara delik ışınımını soruşturmak için benimsediği yoldur. Ama daha ileri ve spekülatif fikirlere geçmeden önce kara delikleri genel göreliliğin görece güvenli bağlamında anlamamız gerekir.

Klasik genel görelilikte, kara delik elde edebileceğiniz en saf türden kütleçekim alanıdır. Düşünce deneylerinin esnek dünyasında, birçok yoldan bir kara delik yaratmayı tasavvur edebiliriz: olağan bir yıldız gibi bir gaz topundan, saf altından oluşan dev bir gezegenden ya da muazzam bir dondurma küresinden. Ama bu şeyler kütleçekim alanları dışarıya hiçbir şeyi bırakmayacak kadar güçlü olacakları noktaya kadar çöktüklerinde –resmen kara delik haline geldiklerinde– ne tür bir şeyden oluşmuş oldukları-na dair belirtiler tamamen yok olur. Güneşin kütlesine sahip bir

gaz topundan oluşmuş bir kara delik, güneşin kütlesine sahip bir dondurmadan oluşmuş kara delikten ayırt edilemez. Kara delik, genel göreliliğe göre, başlangıçta elimizde bulunan madde her neyse, bunun yoğun bir şekilde sıkışmış bir sürümü değildir. Saf bir kütleçekim alanıdır – özgün "malzeme" tekilliğin içinde kaybolmuş ve elimizde güçlü bir biçimde eğilmiş bir uzay-zaman bölgesi kalmıştır.

Yerkürenin kütleçekim alanını düşündüğümüzde, gezegenimizi belli bir kütle ve boyuta sahip kusursuz bir küre olarak modellemekle başlayabiliriz. Biraz daha iyisini yapmak istersek, Yerkürenin döndüğü olgusunu da hesaba katarız, bu yüzden Ekvator yakınlarında, kutupların yakınlarında olduğundan biraz daha geniştir. Ve bu konuda aşırı dikkatli olmak istersek, Yerkürenin kesin kütleçekim alanı bir noktadan diğerine karmaşık şekillerde değişir; yüzeyin yüksekliğindeki değişikliklerin yanında denizlerle karaların ve kimi kaya şekillerinin yoğunluklarındaki farklılıklar Yerkürenin kütleçekiminde küçük ama ölçülebilir oynamalara neden olur. Yerkürenin kütleçekim alanının yerel özelliklerinin her biri aslında bir hayli bilgi içerir.

Kara delikler böyle değildir. Bir kez oluşsunlar, oluşmalarına kaynak olan malzemenin tümsekleri ve dalgalanmalarından eser kalmaz. Tam oluşumun gerçekleştiği sırada, kara delik henüz tam oturmadan böyle kısa bir dönem olabilir, ama kısa sürede dümdüz ve özelliksiz hale gelir. Oturduktan sonra, bir kara delik hakkında ölçebileceğimiz üç şey vardır: toplam kütlesi, ne hızda döndüğü ve ne kadar elektrik yüküne sahip olduğu. (Gerçek astrofiziksel kara delikler normalde sıfıra yakın net elektrik yüküne sahip olurlar, ama genellikle çok hızlı dönerler.) Bu kadar. Aynı kütle, yük ve spine sahip iki malzeme yığını, kara deliğe dönüştüklerinde, klasik genel görelilik açısından, birbirlerinden kesinlikle ayırt edilemezler. Genel göreliliğin bu öngörüsü, kara deliklere de adlarını veren aynı adam, John Wheeler'ın hoş bir sözüyle özetlenebilir: "Kara deliklerin saçı olmaz."

Bu saçı olmama işi bazı alarm zillerinin çalmasına neden olmalıdır. Anlaşılan, söylemiş olduğumuz her şey doğruysa, bir kara delik oluşumu sürecinin dramatik bir sonucu olmalıdır: Bilgi kaybolur. İki çok farklı türden başlangıç koşulu alabiliriz (Güneş kütlesinde bir sıcak gazla yine güneş kütlesinde bir dondurma) ve

tamamıyla aynı nihai koşulara (güneş kütlesinde bir kara delik) doğru evrilebilirler. Ama şimdiye kadar fiziğin mikroskobik yasalarının –ki Einstein'ın genel görelilik denkleminin de bunlardan biri olduğu kabul edilir– bilgiyi koruma özelliğine sahip olduğunu söyleyip durduk. Başka bir deyişle: Bir kara delik oluşturmak tersinmez bir süreç gibi duruyor, ama Einstein'ın denklemi kusursuz tersinirliğe sahipmiş gibi görünüyor.

Endişelenmekte haklısınız! Bu bir zaman bilmecesidir. Klasik genel görelilikte, bir çıkış yolu vardır: bilginin gerçekte *kaybolmadığını* söyleriz; *sizin için kaybolmuştur*, çünkü kara deliğin olay ufkunun ötesinde saklanmıştır. Bunun tatmin edici mi olduğuna yoksa bir bahane gibi mi durduğuna karar verecek olan sizsiniz. Her halükârda, orada duramayız, çünkü Hawking eninde sonunda kuantum mekaniği hesaba katıldığında kara deliklerin buharlaşacağını söyleyecektir. O zaman ciddi bir sorunumuz olur, binlerce kuramsal fizik makalesinin ortaya çıkmasına neden olan bir sorun.[5]

KARA DELİK MEKANİĞİNİN YASALARI

Bir kara delikten hiçbir şey kaçamayacağına göre, toplam kütlesinin hiç azalmayacağını düşünebilirsiniz. Ama Roger Penrose'a borçlu olduğumuz çok yaratıcı bir fikir tarafından gösterildiği gibi, bu pek de doğru değildir. Penrose kara deliklerin kütlenin yanında spin ve yüke sahip olduğunu biliyordu, bu yüzden akılcı bir soru sordu: bu spin ve yükü yararlı iş elde etmekte kullanamaz mıyız? Diğer bir deyişle, spin ve yükünü azaltarak bir kara delikten enerji elde edemez miyiz? (Kara delikleri durağan durumdaki tek tek nesneler olarak düşündüğümüzde, zihnimizin arkasında saklanan $E=mc^2$ ile "kütle" ve "enerjiyi" birbirlerinin yerine kullanabiliriz.)

Yanıt evettir, en azından burada çalıştığımız düşünce deneyi düzeyinde. Penrose dönen bir kara deliğin yakınına bir şeyler atıp yaklaştıklarından *daha yüksek* enerjiyle çıkmalarını ve kütlesini azaltma süreci içinde dönüşünü yavaşlatmayı sağlayacak bir yol düşündü. Özünde, kara deliğin spinini yararlı enerjiye dönüştü-

[5] Aslında, çok daha fazlasına. 2009 Ocak ayı itibariyle, Hawking'in ilk makalesine (1975) 3000'in üzerinde başka bilimsel makalede atıfta bulunulmuştur.

rebiliriz. Dev, dönen bir kara deliğe erişimi olan aklımızı başımızdan alacak kadar ileri bir uygarlık izlemek isteyebilecekleri herhangi bir kamu hizmeti projesinde kullanmak üzere muazzam bir enerji kaynağına sahip olacaktı. Ama sonsuz bir kaynak değil – bu süreçle çıkartabileceğimiz sonlu bir enerji miktarı vardır, çünkü sonunda kara delik dönüşünü tamamen sonlandıracaktır. (En iyi durum senaryosunda, başlangıçta hızla dönen kara deliğin toplam enerjisinin yaklaşık yüzde 29'unu çıkartabiliriz.)

Böylece: Penrose kara deliklerin yararlı iş çıkartabileceğimiz sistemler olduğunu gösterdi, en azından bir noktaya kadar. Kara deliğin dönmesi sona erdiğinde, çıkartılabilir tüm enerjiyi kullanmış oluruz ve kara delik de orada oturur. Bu sözcükler önceki termodinamik tartışmalarımızdan müphem bir şekilde aşina gelmiş olmalıdır.

Stephen Hawking, Penrose'un çalışmalarını sürdürüp, dönen bir kara deliğin kütle/enerjisini azaltmanın mümkün olmasına karşın, her zaman için sabit kalan ya da artan bir nicelik olduğunu gösterdi: olay ufkunun, temelde kara deliğin büyüklüğü olan alanı. Ufkun alanı belli bir kütle, spin ve yük bileşimine bağlıdır ve Hawking bu belli bileşimin ne yaparsak yapalım hiç azalmadığını buldu. Örneğin iki kara deliğimiz varsa, birbirleriyle çarpışıp kaynaşarak tek bir kara deliğe dönüşebilirler, çılgınca titreşip kütleçekimsel ışınım salarlar.[6] Ama yeni olay ufku her zaman özgün iki ufkun toplam alanından daha büyüktür – ve Hawking'in sonucunun hemen ardından gelen sonucu olarak da büyük bir kara delik hiçbir zaman iki daha küçük deliğe bölünmez, çünkü alanı küçülecektir.[7] Belli bir kütle miktarı için, en yüksek alanlı ufku tek, yüksüz, dönmeyen bir kara delikten elde ederiz.

---

[6] Şu an itibariyle, hiç doğrudan kütleçekimsel dalga tespit etmiş değiliz, ama var olduklarına dair dolaylı kanıtlar (iki nötron yıldızından oluşan ve "ikili atarca" olarak bilinen bir sistem tarafından kaybedilen enerjiden çıkarsanmıştır) Joseph Taylor ve Russel Hulse'un 1993'te Nobel Ödülü almaları için yeterli olmuştur. Şu anda birçok kütleçekimsel-dalga gözlemevi belki de iki kara deliğin kaynaşmasından kaynaklanan böylesi dalgaları doğrudan keşfetmek için çalışmaktadır.

[7] Olay ufkunun alanı kara deliğin kütlesinin karesiyle orantılıdır; doğrusu, alan A, kütle de M ise, $A = 16\pi G^2M^2/c^4$ olur, burada G Newton kütleçekim sabiti, c de ışık hızıdır.

Yani: bir kara delikten bir noktaya kadar yararlı iş çıkartabilecek olsak da bu süreç zarfında sürekli yükselen bir nicelik (olay ufkunun alanı) vardır ve en yüksek değerine tüm yararlı iş çıkartıldıktan sonra erişir. İlginç. Bu gerçekten de ürkütücü bir biçimde termodinamiği anımsatmaktadır.

Bu kadar davetkâr ima yeter; bu benzetmeyi açık hale getirelim.[8] Hawking bir kara deliğin olay ufkunun alanının hiç azalmadığını göstermişti; ya artar ya da sabit kalırdı. Bu Termodinamiğin İkinci Yasasına göre entropinin davranışına çok benzer. Termodinamiğin Birinci Yasası genellikle "enerji korunur" olarak özetlenir, ama aslında farklı enerji biçimlerinin nasıl bir araya gelip toplam enerji olduğunu bize anlatır. Açıkça kara delikler için de benzer bir kural söz konusudur: toplam kütleyi veren formül spin ve yükten gelen katkıları da içerir.

Bunların yanında bir de Termodinamiğin Üçüncü Yasası vardır: bir olası en düşük sıcaklık değeri vardır, yani mutlak sıfır ve bu sıcaklıkta entropi de en düşük düzeydedir. Bu benzetmedeki "sıcaklığın" rolünü kara deliklerin durumunda ne oynar? Yanıt, bir kara deliğin *yüzey kütleçekimidir* – deliğin kütleçekimin olay ufku yakınlarında, çok uzaklardaki bir gözlemcinin ölçtüğü haliyle ne kadar büyük olduğu. Yüzey kütleçekimin sonsuz olduğunu düşünebilirsiniz – kara deliğin anlamı da bu değil midir? Ama yüzey kütleçekimi gerçekte olay ufku yakınında uzay-zamanın ne kadar dramatik bir biçimde eğrildiğinin bir ölçüsüdür ve aslında kara delik giderek daha kütleli bir hale geldikçe, *güçsüzleşir*.[9] Bir kara deliğin yüzey kütleçekimi için de bir en düşük değer vardır: sıfır! Bu da bütün kara delik enerjisinin yük ya da spinden geldiği, hiçbirinin "kendi başına kütleden" gelmediği zaman gerçekleşir.

Nihayet, bir de Termodinamiğin Sıfırıncı Yasası vardır: iki sistem üçüncü bir sistemle termal denge durumundaysa, kendi

---

[8] Kara delik mekaniği ile termodinamik arasındaki benzetme Bardeen, Carter ve Hawking (1973) içinde telaffuz edilmiştir.

[9] Yüzey kütleçekimin neden sonsuz olmadığını düşünmenin bir yolu, "çok uzaktaki bir gözlemcinin ölçtüğü haliyle" şerhini ciddiye almaktır. Kara delik yakınındaki kuvvet büyüktür, ama sonsuzluktan ölçerseniz kütleçekimsel bir kırmızıya kaymaya uğrar, tıpkı kaçan bir fotonun olacağı gibi. Kuvvet sonsuz büyüklüktedir, ama uzak bir gözlemcinin bakış açısından sonsuz bir kırmızıya kayma söz konusudur ve etkiler birleşerek yüzey kütleçekimi için sonlu bir yanıt verir.

aralarında da termal denge durumundadırlar. Kara delikler için benzer ifade "yüzey kütleçekimi durağan bir kara deliğin olay ufkunun her yerinde aynıdır" şeklindedir. Ve bu doğrudur.

Yani 1800'lü yıllarda geliştirilen haliyle termodinamiğin yasaları ile 1970'lerde geliştirilen "kara delik mekaniğinin yasaları" arasında kusursuz bir benzerlik vardır. Benzetmenin farklı unsurları aşağıdaki tabloda özetlenmiştir.

Termodinamik ⇔	Kara delikler
Enerji ⇔	Kütle
Sıcaklık ⇔	Yüzey kütleçekimi
Entropi ⇔	Alan

Ama şimdi karşımızda önemli bir soru çıkıyor, bilimde önemli gelişmelere yol açacak türden bir soru: bu benzetmeyi ne kadar ciddiye almalıyız? Bu yalnızca eğlenceli bir rastlantı mı yoksa altta yatan bir gerçeği mi yansıtıyor?

Bu meşru bir sorudur, öngörülebilir bir yanıt için ucuz bir tezgâh değil. Rastlantılar bazen olur. Bilim insanları termodinamik ile kara delikler gibi görünürde ilgisiz iki şey arasında düşündürücü bir bağlantıyla karşılaştıklarında, bu önemli bir keşfin ipucu da olabilir, bir tesadüf de. Farklı kişiler böyle derin bir bağlantının olup olmadığı konusunda farklı duygulara sahip olabilirler. Nihayetinde, soruna bilimsel olarak yaklaşıp bir sonuca varabiliriz, ama yanıt önceden açıkça görülmez.

BEKENSTEIN'IN ENTROPİ ÖNGÖRÜSÜ

Termodinamik ile kara delik mekaniği arasındaki benzetmeyi en fazla ciddiye alan, o sıralarda John Wheeler'ın yönetiminde çalışan bir lisansüstü öğrencisi olan Jacob Bekenstein oldu. Wheeler, özlü sözler akıl etmekle uğraşmadığı zamanlarda, fizik topluluğunun geri kalanının parçacık fiziğiyle uğraştığı bir dönemde –Standart Modelin inşa edildiği, 1960'ların ve 1970'lerin kahramanca günleri– kuantum kütleçekim (ve etraflıca genel görelilik) alanını hevesle ilerletmeye çalışıyordu. Wheeler'ın etkisi yalnızca fikirlerinde değil –o ve Bryce DeWitt, Schrödinger kuantum mekaniği denklemini bir kütleçekim kuramı şeklinde ilk genelleyenlerdi–

öğrencilerinde de hissediliyordu. Bekenstein'ın yanında, Wheeler şimdi kütleçekim fiziği konusundaki araştırmaların başını çeken bilim insanlarının önemli bölümünün doktora danışmanıydı ki bunlara Kip Thorne, Charles Misner, Robert Wald ve William Unruh da dahildi, Hugh Everett ve Wheeler'ın ilk öğrencisi olan Richard Feynman adlı kişiyi hiç saymıyorum.

Yani 1970'lerin başlarında Princeton kara delikler üzerine düşünmek için verimli bir ortamdı ve Bekenstein da tam ortasındaydı. Doktora tezinde basit ama dramatik bir öneride bulunmuştu: Kara delik mekaniği ile termodinamik arasındaki ilişki yalnızca bir benzerlik değildi, bir özdeşlikti. Bekenstein özellikle bilgi kuramından fikirler kullanarak kara delik olay ufkunun entropiye *benzer* değil, bizatihi entropinin *kendisi* olduğunu öne sürdü.[10]



Şekil 59: Kara deliklerin entropisinin bulunduğunu ilk öneren Jacob Bekenstein.

Görünüşte, bu hazmedilmesi biraz güç bir öneri gibi durur. Boltzmann bize entropinin ne olduğunu söylemişti: bir sistemin makroskobik olarak ayırt edilemeyen mikroskobik durumlarının sayısını simgeler. "Kara deliklerin saçı olmaz" büyük bir kara delik için çok az durum olduğunu ima eder gibidir; gerçekten de belirlenmiş bir kütle, yük ve spin için, kara deliğin eşsiz olması gerekir. Ama işte Bekenstein çıkmış astrofiziksel boyutlardaki bir kara deliğin entropisinin şaşırtıcı düzeyde yüksek olduğunu söylüyordu.

Olay ufkunun alanının bir çeşit birimle ölçülmesi gerekiyordu – dönüm, hektar, santimetre kare ya da her neyse. Bekenstein kara deliğin entropisinin yaklaşık olarak Planck alanı birimiyle ölçülen olay ufku alanına eşit olduğunu iddia ediyordu. 10^{-33} santimetre olan Planck uzunluğu, kuantum kütleçekimin önemli olduğunun kabul edildiği çok küçük bir uzaklıktır; Planck alanı da Planck uzunluğunun karesidir. Güneşe benzer kütlesi olan bir

[10] Daha temkinli bir şekilde, Bekenstein entropinin olay ufkunun alanıyla orantılı olduğunu önerdi. Hawking sonunda orantılılık sabitini buldu.

kara delik için olay ufkunun alanı 10^{77} Planck alanıdır. Bu büyük bir sayıdır; 10^{77}'lik bir entropi Samanyolu galaksisindeki tüm yıldız, gaz ve tozun olağan entropisinden daha yüksek olur.

Yüzeysel bir düzeyde, saçsızlık fikri ile Bekenstein'ın entropi fikri arasındaki gerilimi uzlaştırmanın hayli doğrudan bir yolu vardır: Klasik genel görelilik doğru değildir ve kara delik entropisi miktarının ima ettiği muazzam sayıdaki durumu anlayabilmek için kuantum kütleçekime gerek duyarız. Ya da daha merhametli bir tarzda söylemek gerekirse, klasik genel görelilik bir tür termodinamiktir ve kütleçekimin önem kazandığı vakalarda entropinin mikroskobik "istatistiksel mekanik" anlayışını çözebilmek için kuantum kütleçekim gerekli olacaktır. Bekenstein'ın önerisi, bir makroskobik klasik kara delik oluşturabilmek için uzay-zamanın kendisini mikroskobik kuantum düzeyinde dizebileceği gerçekten trilyonlarca farklı yol olduğunu ima eder gibiydi. Tek yapmamız gereken bu yolların hangileri olduğunu bulmaktı. Bunun söylemesi yapmasından kolay bir iş olduğu anlaşıldı; aradan otuz beş yılın üzerinde zaman geçti, kara delik entropi formülünün ima ettiği o mikro-durumların doğası üzerine hâlâ sağlam bir kavrayışa sahip değiliz. Bir kara deliğin bir kutu gaz gibi olduğunu düşünüyoruz, "atomların" ne olduğunu bilmiyoruz – ama kimi kışkırtıcı ipuçlarına sahibiz.

Ama bu çığır açıcı bir şey değil. İkinci Yasanın Carnot ve Clausius tarafından Boltzmann ortaya çıkmadan önce formüle edildiğini unutmayın. Belki de kuantum kütleçekim konusunda biz de sürecin benzer bir aşamasındayız. Belki de genel görelilikte kütle, yük ve spinin özellikleri tam mikro-durumu belirlemeyen, sadece makroskobik gözlemlenebilirlerdir, tam da olağan termodinamikte sıcaklık ve basıncın olduğu gibi.

Bekenstein açısından, kara delikler fiziğin geri kalanından ayrı duran acayip şeyler değildi; aynı bir kutu gazın olduğu gibi termodinamik sistemlerdi. Bir "Genelleştirilmiş İkinci Yasa" önerdi, bu temelde olağan İkinci Yasanın kara delik entropisi eklenmiş haliydi. Bir kutu gaz alır, bunu bir kara deliğin içine atar ve öncesi ile sonrasında toplam entropiye ne olacağını hesaplayabilirdik. Yanıt şuydu: Yükselirdi, Bekenstein'ın kara delik entropisinin olay ufkunun alanıyla orantılı olduğu yolundaki iddiasını kabul edersek tabii. Barizdir ki böylesi bir senaryonun entropi ile uzay-

zaman arasındaki ilişki açısından daha dikkatli bir şekilde incelenmeye değer kimi derin sonuçları vardır.

HAWKING IŞINIMI

Wheeler'ın Princeton'daki grubunun yanında, 1970'lerin başlarında genel görelilik konusundaki en iyi çalışmalar Büyük Britanya'da gerçekleşiyordu. Özellikle Stephen Hawking ve Roger Penrose eğik uzay-zamanı inceleyebilmek için yeni matematik teknikleri icat edip uyguluyorlardı. Bu soruşturmalardan ünlü tekillik kuramlarının –kütleçekim kara deliklerde ya da Büyük Patlama yakınlarında olduğu gibi yeterince güçlü olursa, genel görelilik tekilliklerin varlığını önerir– yanında Hawking'in, kara deliklerin olay ufkunun alanının hiç azalmayacağı üzerine sonucu çıktı.

Hawking, Bekenstein'ın çalışmasına yakın ilgi gösteriyordu ama sonuçlardan hoşnut değildi. Bir kere, alan ve entropi arasındaki benzetmeyi ciddiye alırsanız, termodinamik/kara delik benzetmesinin diğer kısımlarını da aynı şekilde ciddiye almalıydınız. Özellikle, bir kara deliğin (önemsenmeyecek spin ve yüke sahip küçük kara delikler için yüksek, büyük ya da önemli spin ya da yüke sahip kara delikler için daha küçük olan) yüzey kütleçekim *sıcaklığıyla* orantılı olmalıydı. Ama bu, görünüşte, abes olurdu. Şeyleri yüksek sıcaklıklara ısıttığınızda, erimiş metal ya da yanan alev gibi parlarlar. Ama kara delikler parlamaz; kara olurlar. *İşte bu kadar*, diye Hawking'in Atlantik'in öte yakasından düşündüğünü görür gibiyiz.

Uslanmaz seyyah Hawking 1973'te kara delikler üzerine konuşmak amacıyla Sovyetler Birliğine gitti. Moskova görelilik ve kozmoloji konularında, Yakov Zel'dovich önderliğinde Princeton ve Cambridge'tekilerle aşık atabilecek bir uzmanlar grubuna sahipti. Zel'dovich ve meslektaşı Alexander Starobinsky Hawking'e Penrose sürecini –döner bir kara delikten enerji elde etmek– kuantum mekaniğinin ışığında anlayabilmek için gerçekleştirdikleri bazı çalışmalardan söz ettiler. Moskova grubuna bakılırsa, kuantum mekaniği spin yapan bir kara deliğin *kendiliğinden* ışınım yaydığını ve enerji kaybettiğini söylüyordu; süper ileri bir uygarlığın ona bir şeyler fırlatmasına gerek yoktu.

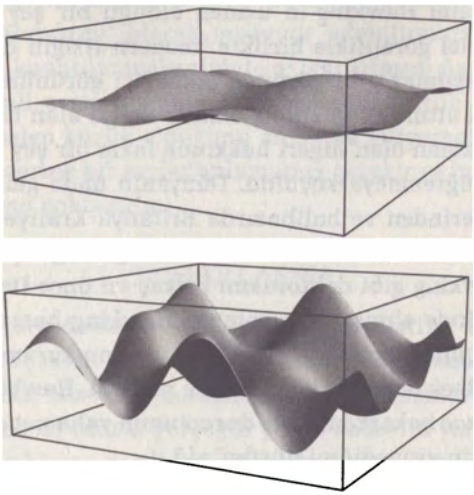
Hawking'in merakı uyanmıştı, ama Zel'dovich ve Starobinsky'nin sunduğu özgül savlara ikna olmamıştı.[11] Bu yüzden kara delikler bağlamında kuantum mekaniğinin doğurduğu sonuçları kendi başına anlamaya koyuldu. Bu basit bir problem değildi. "Kuantum mekaniği" çok genel bir fikirdi: durum uzayı konumlar ve momentumlardan ziyade dalga fonksiyonlarından oluşuyordu ve dalga fonksiyonlarını, onları dramatik bir biçimde değişikliğe uğratmadan hassasiyetle gözlemleyemezsiniz. Bu çerçevede, tek tek parçacıklardan süper sicimler topluluklarına farklı kuantum sistemleri düşünebiliriz. Kuantum mekaniğinin kurucuları, akılcı bir şekilde, birbirlerine göre yavaş hareket eden az sayıda atomdan oluşan görece basit sistemlere odaklanmışlardı. Çoğu fizik öğrencisinin kuantum mekaniğini ilk çalıştıklarında öğrendikleri hâlâ budur.

Parçacıklar çok enerjili hale gelip ışık hızına yakın hızlarda hareket etmeye başladıklarında, göreliliğin derslerini artık görmezden gelemeyiz. Bir kere, birbirleriyle çarpışan iki parçacığın enerjisi o kadar büyük olabilir ki $E = mc^2$'nin mucizesi sayesinde birçok yeni parçacık üretebilirler. Kuramsal fizikçilerin on yıllar süren çabaları sonucunda, kuantum mekaniği ile özel göreliliği uzlaştıracak doğru formalizm "kuantum alan kuramı" biçiminde bir araya getirildi.

Kuantum alan kuramının temel fikri basittir: dünya alanlardan oluşmuştur ve bu alanların dalga fonksiyonlarını gözlemlediğimizde, parçacıklar görürüz. Belli bir noktada var olan bir parçacığın aksine, bir alan uzayın her yerinde vardır; elektrik alanı, manyetik alan ve kütleçekim alanı hep aşina örneklerdir. Uzaydaki her bir noktada, var olan her alanın (bu değer sıfır da olsa) belli bir değeri vardır. Kuantum alan kuramına göre, *her şey* bir alandır – bir elektron alanı, çeşitli kuark alanları vs vardır. Ama bir alana baktığımızda, parçacıklar görürüz. Örneğin elektrik ya da manyetik alanlara baktığımızda, elektromanyetizmanın parçacıkları olan fotonları görürüz. Zayıfça titreşen bir elektromanyetik alan az sayıda foton sergiler; çılgınca titreşen bir elektromanyetik alan çok sayıda foton sergiler.[12]

---

[11] Hawking (1988), 104-5.
Elektromanyetik ya da kütleçekimsel alanlardan söz etmenin neden doğal olduğunu, ama elektron alanlarından ya da kuark alanlarından söz etmenin



Şekil 60: Alanların uzayın her noktasında bir değeri vardır. Bir kuantum alanını gözlemlediğimizde, alanın kendisini değil, bir parçacıklar yığını görürüz. Üstteki, yavaşça dalgalanan alan az sayıda parçacığa karşılık gelir: alttaki çılgınca dalgalanan alansa çok sayıda parçacığa karşılık gelir.

Kuantum alan kuramı kuantum mekaniği ile özel göreliliği uzlaştırır. Bu, kuantum mekaniği ile *genel* göreliliği, kütleçekim kuramı ve uzay-zaman eğriliğini uzlaştıracak olan "kuantum kütleçekimden" çok farklıdır. Kuantum alan kuramında, uzay-zamanın, eğik olsun olmasın, kusursuz bir şekilde klasik olduğunu tasavvur ederiz; alanlar kuantum mekaniğinin kurallarına tabidir, uzay zaman ise sadece sabit bir ardalan olarak çalışır. Aksine, tam tekmil kuantum kütleçekimde uzay-zamanın bile bir dalga fonksiyonu olduğunu ve tamamen kuantum mekaniksel olduğunu tasavvur ederiz. Hawking'in çalışması sabit eğik bir uzay-zamanda kuantum alan kuramı bağlamındaydı.

---

doğal olmadığını sorabilirsiniz. Bunun nedeni fermiyonlar ile bozonlar arasındaki farktır. Fermiyonlar, elektronlar ve kuarklar gibi, madde parçacıklarıdır ve birbirlerinin üzerine yığılamamalarıyla ayırt edilirler; bozonlar, fotonlar ve gravitonlar gibi, rahatça üst üste yığılabilen kuvvet parçacıklarıdır. Makroskobik, klasik görünümlü bir alanı gözlemlediğimizde, bu muazzam sayıda bozon parçacığının bileşimidir. Elektron ya da kuarklar gibi fermiyonlar o şekilde yığılamazlar, bu yüzden alan titreşimleri yalnızca tek tek parçacıklar olarak sergilenir.

Alan kuramı Hawking'in uzman olduğu bir şey değildi; her ne kadar genel görelilikle birlikte "modern fiziğin dışarıdan bakanlara anlaşılmaz gibi görünen etkileyici görünümlü kuramları" şemsiyesi altında toplanmış olsalar da iki alan hayli farklıdır ve birinde uzman olan diğeri hakkında fazla bir şey bilmeyebilir. Bu yüzden, öğrenmeye koyuldu. Dünyanın önde gelen kuramsal astrofizikçilerinden ve halihazırda Britanya Kraliyet Astronomu olan Sir Martin Rees o sıralarda Cambridge'te genç bir bilim insanıydı; Hawking gibi doktorasını birkaç yıl önce Dennis Sciama gözetmenliğinde almıştı. O sıralarda Hawking hastalığı tarafından ciddi ölçüde hırpalanmıştı; kuantum alan kuramı üzerine bir kitap ister, Rees de bunu onun önüne koyardı. Hawking saatlerce kitaba sessizce bakarken, Rees durumunun vahametinin fazlasıyla ileriye gidip gitmediğini düşünürdü.[13]

Hiç alakası yoktu. Hawking kuantum alan kuramının formalizmini kara deliklerin ışınımı sorununa uyguluyordu. Zel'dovich ve Starobinsky'nin dönen kara delikler üzerine sonuçlarını yeniden üretecek bir formül türetmeyi umuyordu, ama bunun yerine inanılmaz bir şey buldu: kuantum alan kuramı anlaşılan dönmeyen kara deliklerin bile ışınım yaydığı sonucunu veriyordu. Gerçekten de belli bir sabit sıcaklıkta termal dengedeki bir sistemle tamamen aynı şekilde ışımalıydılar ve tam da kara deliklerle termodinamik arasındaki benzetmede olduğu gibi, sıcaklık yüzey kütleçekimiyle orantılı olacaktı.

Hawking, şaşkınlık içinde, Bekenstein'ın haklı olduğunu kanıtlamıştı. Kara delikler gerçekten de tamamen olağan termodinamik nesneler gibi davranıyorlardı. Bu, başka şeylerin yanında, kara deliklerin entropisinin gerçekten de olay ufuklarının alanıyla orantılı olduğu anlamına geliyordu; bu bağlantı sadece eğlenceli bir rastlantı değildi. Aslında, Hawking'in hesapları (Bekenstein'ın savının aksine) kesin orantılılık sabitini belirlemesini sağlamıştı: 1/4. Yani L_p Planck uzunluğu olursa, L_p^2 de Planck alanı, bir kara deliğin entropisi, ufkunun Planck alanı birimiyle ölçülen alanının ¼'üne eşitti:

$$S_{BH} = A/(4L_p^2).$$

[13] Overbye (1991), 109.

BH altsimgesini keyfinize göre "Black Hole" (Kara Delik) ya da "Bekenstein-Hawking" olarak tasavvur edebilirsiniz. Bu formül kütleçekimin kuantum mekaniğiyle uzlaştırılması üzerine elimizdeki en önemli eşsiz ipucudur.[14] Entropinin Büyük Patlama yakınlarında neden küçük olduğunu anlamak istiyorsak, entropi ve kütleçekim üzerine bir şeyler anlamamız gerekir ve bu da mantıklı bir başlangıç noktasıdır.

BUHARLAŞMA

Hawking'in kara deliklerin ışıdığı üzerine şaşırtıcı sonucu nasıl türettiğini gerçekten anlamak, eğik uzayda kuantum alanlarının davranışlarının ince bir matematiksel çözümlemesini yapmayı gerektirir. Yine de özdeki gerçeğin yeteri kadarını yansıtan gözde bir kolaycı açıklama vardır ve dünyada herkes, Hawking de aralarında olmak üzere bunu kullanır, o zaman biz neden kullanmayalım?

Birincil fikir, kuantum alan kuramının babadan kalma gerçek parçacıkların yanında "sanal parçacıkların" da varlığını gerektiriyor olmasıdır. Bu fikirle 3. Bölüm içinde vakum enerjisinden söz ederken kısaca karşılaşmıştık. Bir kuantum alanı için, en düşük enerji durumunun alanın mutlak sabit olduğu zaman –orada durup, ne bir yerden diğerine ne de bir andan diğerine değişmediği durumu– olduğunu düşünebiliriz. Klasik bir alan söz konusu olsaydı, bu doğru olurdu, ama kuantum mekaniğinde bir parçacığı belli bir konuma bağlamanın mümkün olmadığı gibi, kuantum alan kuramında bir alanı da belli bir kuruluma bağlamak mümkün olmaz. Kuantum alanının değerinde her zaman için içkin bir belirsizlik ve bulanıklık olacaktır. Kuantum alanına içkin bu titreşmeyi parçacıkların, her seferinde bir parçacık ve bir karşı parçacık olarak ve gözlemleyemeyeceğimiz kadar hızlı bir şekilde ortaya çıkıp kaybolmaları olarak düşünebiliriz. Bu sanal parçacıklar hiçbir zaman doğrudan gözlemlenemez; bir parçacığı

[14] Başvuru amacıyla, Planck uzunluğu eşittir $(G\hbar/c^3)^{1/2}$, burada G Newton kütleçekim sabiti, $\hbar$ Planck kuantum mekaniği sabiti ve c de ışık hızıdır. (Boltzmann sabitini 1'e eşitledik.) Böylece entropi $S = (c^3/4\hbar G)A$ olarak ifade edilebilir. Olay ufkunun alanı kara deliğin kütlesi M'ye $A = 8\pi G^2M^2$ denklemiyle ilişkilidir. Hepsini bir araya getirirsek, entropi kütle ilişkisi denklemi şöyle olur: $S = (4\pi Gc^3/\hbar)M^2$.

görüyorsak, biliriz ki bu gerçek bir parçacıktır, sanal değil. Ama sanal parçacıklar gerçek (sanal olmayan) parçacıklarla etkileşime girebilirler, çok incelikli bir şekilde özelliklerini etkileyebilirler ve bu etkiler de gözlemlenmiş ve ayrıntılı bir şekilde incelenmiştir. Gerçekten oradadırlar.

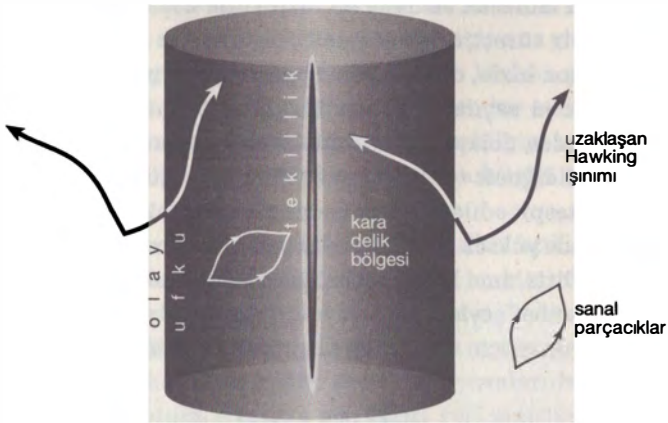
Hawking'in bulduğu, bir kara deliğin kütleçekim alanının sanal parçacıkları gerçek olanlara dönüştürebildiğiydi. Normalde, sanal parçacıklar çiftler durumunda belirir: bir parçacık bir de karşı-parçacık olarak[15] ortaya çıkarlar, çok kısa bir an için yaşarlar sonra da yok olurlar, kimse de bir şeyin farkına varmaz. Ama bir kara delik, olay ufku nedeniyle, işleri değiştirir. Bir sanal parçacık/karşı-parçacık çifti ufkun çok yakınında ortaya atladığında, çiftlerden biri içeri düşebilir ve açıktır ki tekilliğe doğru devam etmekten başka şansı yoktur. Bu arada diğer eş artık sonsuzluğa kaçabilir. Olay ufku, parçacıklardan birini yutarak sanal çifti ayırma işlevini görmüştür. Kaçan parçacık Hawking ışınımının bir parçasıdır.

Bu noktada, sanal parçacıkların can alıcı bir özelliği devreye girer: enerjileri herhangi bir şey olabilir. Bir sanal parçacık/karşı-parçacık çiftinin toplam enerjisi tamı tamına sıfırdır çünkü vakumdan içeri ve dışarı sıçrayabilmeleri gerekir. Gerçek parçacıklar için, enerji, parçacık durağanken kütle çarpı ışık hızının karesine eşittir ve parçacık hareket durumundaysa artar; dolayısıyla hiçbir zaman eksi olamaz. Bu yüzden kara delikten kurtulan gerçek parçacık artı enerjiye sahipse ve özgün sanal parçacık çiftinin enerjisi sıfırsa, bu kara deliğe düşen eşin *eksi* enerjiye sahip olduğu anlamına gelir. İçeri düştüğünde, kara deliğin toplam kütlesi azalır.

Eninde sonunda, başka bir kaynaktan ilave enerji eklenmezse, bir kara delik tamamen buharlaşacaktır. Buradan anlaşılıyor ki, kara delikler zamanın ebediyen sona erdiği yerler değildir; sonunda yok olmadan önce, bir süreliğine var olan nesnelerdir. Bir şekilde, Hawking ışınımı kara delikleri klasik genel görelilikte göründüğünden çok daha sıradan hale getirmiştir.

---

[15] Parçacıklar ve karşı-parçacıklar, hepsi "parçacıktır," ne demekse. Bazen *parçacık* sözcüğü özellikle *karşı-parçacıkla* karşıtlık oluşturmak için kullanılır, ama daha çok herhangi bir noktamsı temel nesneyi gösterir. Hiç kimse "pozitron bir parçacıktır, elektron da onun karşı-parçacığıdır" cümlesine itiraz etmez.



Şekil 61: Hawking ışınımı. Kuantum alan kuramında, sanal parçacıklar ve karşı-parçacıklar sürekli vakumda belirip kaybolurlar. Ama bir kara deliğin yakınında, parçacıklardan biri olay ufkundan içeri düşebilir, diğeri de dışarıya, Hawking ışınımı olarak kaçabilir.

Hawking ışınımının ilginç bir özelliği, daha *küçük* kara deliklerin daha *sıcak* olmasıdır. Sıcaklık yüzey kütleçekimiyle orantılıdır, bu da daha az kütleli kara delikler için daha büyüktür. Sözünü ettiğimiz astrofiziksel kara delik türleri, kütleleri Güneşe eşit ya da çok daha fazla olanlar aşırı düşük Hawking sıcaklıklarına sahiptir; halihazırdaki evrende, onlar hiç buharlaşmaz, çünkü etraflarındaki nesnelerden Hawking ışınımıyla kaybettiklerinden çok daha fazla enerji kazanırlar. Bu, tek enerji kaynağı yaklaşık 3 Kelvin olan kozmik ardalan mikrodalgası olsa bile doğru olacaktır. Bir kara deliğin mikrodalga ardalanından daha sıcak olması için 10^{14} kilogramdan daha hafif olması gerekir – yaklaşık Everest Dağı kadar ve bilinen herhangi bir kara delikten çok daha küçük.[16] Kuşkusuz, mikrodalga ardalan evren genişledikçe soğumayı sürdürüyor; bu yüzden yeterince beklersek, kara delikler çevre evrenden daha sıcak olacak ve kütle kaybetmeye başlayacaktır. Bunu

[16] "Bilinen" önemli bir şerhtir. Kozmologlar bilinmeyen süreçlerin, belki de evrenin çok erken dönemlerinde cömert miktarlarda belki de hatta kara maddeyle ilişkili çok küçük kara delikler üretebilmiş olabileceği olasılığını düşünmüşlerdir. Bu kara delikler yeterince küçükseler, hiç de kara olmayacaklardı; giderek artan miktarlarda Hawking ışınımı salacaklardır ve nihai patlamaları bile tespit edilebilecektir.

yaparlarken ısınacak ve daha da hızlı kütle kaybedecekler; bu yokuş aşağı bir süreçtir ve kara delik bir kez çok küçük bir boyuta indiğinde, son hızla, dramatik bir patlama şeklinde gelir.

Ne yazık ki sayılar Stephen Hawking'in kara delik ışınımını öngördüğünden dolayı Nobel Ödülünü kazanmasını çok zorlaştırmaktadır. Bildiğimiz türden kara delikler için, ışınım bir gözlemevi tarafından tespit edilemeyecek kadar zayıftır. Çok şanslı olabilir ve günün birinde yüksek enerjili ışınım salan aşırı minik bir kara delik tespit edebiliriz, ama bunun olasılığı çok düşüktür; Nobel Ödülünü de fiilen görülen şeylerden dolayı alırsınız, sadece güzel bir fikre sahip olduğunuz için değil. [17] Ama güzel fikirlerin de ödülü olur.

BİLGİ KAYBI?

Kara deliklerin buharlaştığı olgusu derin bir soruya yol açar: İlk başta deliğin oluşmasına katkıda bulunan bilgiye ne olur? Genel

---

[17] Spekülatif ama düşündürücü bir fikir, bir parçacık hızlandırıcıda bir kara delik *yapabileceğimiz*, sonra da Hawking ışınımıyla bozunmasını izleyebileceğimiz yolundadır. Olağan koşullarda, bu umutsuz düzeyde gerçek dışıdır; kütleçekim o kadar inanılmaz zayıf bir kuvvettir ki, mikroskobik boyutlarda bir kara delik yapacak kadar güçlü bir parçacık hızlandırıcısını yapmayı bile hiçbir zaman başaramayacağız. Ama uzay-zamanın saklı boyutlarını içeren kimi modern senaryolar kütleçekimin kısa mesafelerde alışıldıktan çok daha büyük olduğunu önermektedir (*bkz.* Randall, 2005). Bu durumda, küçük kara delikler yapma olasılığı "çılgınca"dan "spekülatif, ama o kadar da çılgınca değil" mertebesine çıkar. Eminim ki Hawking de bunun gerçekleşmesini desteklemektedir.
Ne yazık ki bir korku tellalları grubu mikroskobik kara delikler olasılığını ele alıp Cenevre'deki CERN laboratuvarındaki yeni bir parçacık hızlandırıcı olan Büyük Hadron Çarpıştırıcısının (Large Hadron Collider, LHC) dünyayı yok edeceği üzerine senaryolar dolaştırmaya başladı. Olasılık çok düşük olsa bile dünyanın yok edilmesi hayli kötüdür, bu yüzden dikkatli olmalıyız, değil mi? Ama olasılıkların titizlikle gözden geçirilmesi (Ellis vd, 2008), LHC'nin yapacakları arasında evrenin başka yerlerinde birçok kez gerçekleşmemiş hiçbir şey olmadığı sonucuna varmıştır; felaket doğuracak bir şey olacaksa, bunun işaretlerini başka astrofiziksel nesnelerde görmüş olmalıydık. Kuşkusuz, bu gözden geçirmelerde yer alan herkesin bir tür talihsiz matematiksel hata yapıyor olması mümkündür. Ama birçok başka şey de mümkündür. Bundan sonra ilk açtığınız domates salçası kavanozunun yeryüzündeki yaşamı silip süpürecek bir mikrobu ortaya çıkartması da mümkündür. Bir süper-zeki uzaylı ırkı tarafından gözlenip yargılanıyor olmamız da mümkündür ve bunlar da anlamsız bir davadan etkilenip LHC'yi *çalıştırmamamız* durumunda, hakkımızda kötü şeyler düşünüp Yerküreyi yok edebilirler. Olasılıklar burada sözünü ettiklerimiz kadar düşük olduğunda, risk alıp hayatlarımıza devam etmenin zamanı gelmiş demektir.

görelilikte kara deliklerin saçının olmaması ilkesinin düşündürücü sonuçlarından söz etmiştik: kara deliğin içine ne girmiş olursa olsun, bir kez oluştuğunda yegâne özellikleri kütlesi, yükü ve spinidir. Önceki bölümler fizik yasalarının, evren bir andan diğerine evrildikçe bir durumu belirtmek için gereken bilgiyi korumalarını öne çıkartmıştı. İlk bakışta bir kara delik bu bilgiyi yok edermiş gibi görünür.

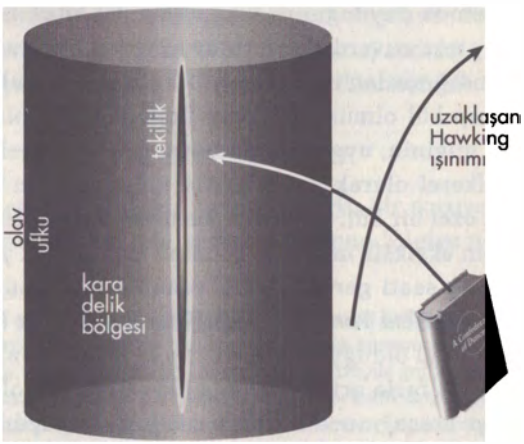
Modern fiziğin zaman oku için tatminkâr bir açıklama getirememesi karşısında duyduğunuz kızgınlıkla, bu kitabın elinizdeki nüshasını bir ateşe atıverdiğinizi tasavvur edin. Daha sonra, biraz aceleci davrandığınızdan endişelenip, kitabı geri almak istediniz. Çok kötü, yanıp kül olmuş bile. Ama fizik yasaları bize, kitapta bulunan tüm bilginin, uygulamada bunu geri getirmek ne kadar zor olsa da ilkesel olarak halen orada bulunduğunu söyler. Yanan kitap çok özel bir kül, ışık ve ısı kurulumuna evrilmiştir; ateş sonrası evrenin eksiksiz mikro-durumunu tam olarak yakalarsak, kuramsal olarak saati geriye işletip yanan kitabın bu mu yoksa diyelim *Zamanın Kısa Tarihi* mi olduğunu bulabiliriz (Laplace'ın şeytanı hangi kitap olduğunu bilirdi.) Bu çok kuramsaldır, çünkü entropi arada çok fazla artmıştır, ama ilkesel olarak, olabilir.

Kitabı ateşe atacağımıza bir kara deliğe fırlatsaydık, öykü tamamen farklı olurdu. Klasik genel göreliliğe göre, bilgiyi eski haline getirmenin hiçbir yolu yoktur; kitap bir kara deliğe düştü ve biz de sonuçtaki kütle, yük ve spini ölçebiliriz, ama başka bir şeyi değil. Kendimizi bilginin hâlâ oralarda bir yerlerde olduğu ama bizim erişemediğimiz fikriyle avutabiliriz.

Hawking ışınımı hesaba katıldığında, öykü değişir. Şimdi artık kara delik ebediyen orada kalmaz; yeteri kadar sabredersek, tamamen buharlaşıp yok olacaktır. Bilgi kaybolmadıysa, ateşle olduğumuz aynı durumda olmalıydık, yani ilkesel olarak kitabın içeriğini dışarı yayılan ışınımın özelliklerinden hareketle yeniden oluşturabilirdik.

Bu beklentideki sorun, Hawking ışınımının bir kara deliğin olay ufku yakınındaki sanal parçacıklardan nasıl kaynaklandığını düşündüğümüzde ortaya çıkar. Şekil 62'ye baktığımızda, ufuktan içeri, tekilliğe (ya da daha iyi bir kuantum kütleçekim kuramında tekilliğin yerini ne alacaksa oraya) kadar düşen ve sayfalarının içerdiği bilgiyi de beraberinde götüren bir kitap tasavvur edebi-

liriz. Bu arada, varsayıma göre aynı bilgiyi götüren ışınım kara deliği terk etmiştir bile. Bilgi aynı anda iki yerde birden nasıl olabilir ki?[18] Hawking'in hesaplamaları açısından, dışarı giden ışınım, içeri giren ne olursa olsun, her türden kara delik için aynıdır. Görünürde, bilgi öylece yok oluyor gibidir; önceki dama tahtası örneğimizde, önceki duruma bakmaksızın rastgele gri ya da beyaz kareler üreten bir tür düğüm varmış gibi olur.



Şekil 62: Bilgi (örneğin bir kitap) bir kara deliğe düşer ve Hawking ışınımı olarak dışarı atılması gerekir. Ama aynı anda iki yerde birden nasıl bulunabilir?

Bu bilmece "kara delik bilgi kaybı paradoksu" olarak bilinir. Kuantum kütleçekim üzerine doğrudan deneysel bilgi sağlamak zor olduğundan, bu paradoksu çözme yolları üzerine düşünmek geçen birkaç on yıl boyunca kuramsal fizikçiler arasında popüler bir zaman geçirme yolu olur. Fizik topluluğunda farklı kişilerin tartışmanın farklı yanlarında yer aldığı gerçek bir anlaşmazlık doğmuştur. Kabaca konuşursak, genel görelilik ekolünden gelen (Stephen Hawking de aralarında olmak üzere) fizikçiler bilginin

[18] Tam da bu doğrultuda fikirleri izlemeyi isteyebilirsiniz – belki de bilgi kopyalanmıştır ve aynı anda hem tekilliğe düşen kitap hem de kara delikten ayrılan ışınım tarafından içeriliyor olabilir. Kuantum mekaniğindeki bir sonuç – "Klonlama Olmaz Kuramı"– bunun olamayacağını söyler. Bilgi yok edilemeyeceği gibi, çoğaltılamaz da.

gerçekten kaybolduğuna ve kara delik buharlaşmasının kuantum mekaniğinin geleneksel kurallarının çözülmesini temsil ettiğine inanmaya eğilimliydiler; bunun yanında, parçacık fiziği ve kuantum alan kuramı ekolünden gelenler daha iyi bir anlayışın bilginin bir şekilde korunduğunu göstereceğine inanmaya eğilimliydiler.

1997'de, Hawking ve onun gibi genel görelilikçi Kip Thorne Caltech'den parçacık kuramcısı John Preskill'le bahse girdiler. Şöyle dediler:

> Stephen Hawking ve Kip Thorne kara delik tarafından yutulan bilginin ebediyen dış evrenden gizlendiğine ve kara delik buharlaşıp tamamen yok olsa da hiçbir zaman kurtarılamayacağına sağlam bir şekilde inanıyor.
> Ve John Preskill kara deliğin buharlaşmasıyla bilginin ortaya çıkartılması için bir mekanizmanın doğru kuantum kütleçekim kuramıyla bulunması gerektiği ve bulunabileceğine sağlam bir şekilde inanıyor.
> Dolayısıyla Preskill şöyle bir bahis önermiş ve Hawking/Thorne kabul etmiştir:
> Bir saf başlangıç kuantum durumu bir kara delik oluşturmak üzere kütleçekimsel çöküşe uğradığında, kara delik buharlaşmasının sonucundaki nihai durum da her zaman saf bir kuantum durumu olacaktır.
> Kaybeden(ler) kazanan(lar)a, kazananın seçeceği ve bilginin içerisinden istenildiği gibi çıkartılabileceği bir ansiklopedi armağan edecektir.
>
> Stephen W. Hawking, Kip S. Thorne, John P. Preskill
> Pasadena, California, 6 Şubat 1997

2004'te, gazetelere manşet olan bir hareketle, Hawking bahsin kendisi tarafından kaybedildiğini kabul ettiğini açıkladı; kara delik buharlaşmasının gerçekten de bilgiyi koruduğunu kabul etti. İlginçtir, Thorne (bu kitabın yazılmasına kadar) bahsin kendi tarafından çekilmedi; dahası, Preskill de kendi armağanını (*Total Baseball: The Ultimate Baseball Encyclopedia*, 8. Basım) isteksizce kabul etti, çünkü meselenin karara bağlandığına inanmıyordu.[19]

---

[19] Preskill'in kara delik bahsi üzerine düşünceleri kendi web sayfasında görülebilir: http://www.theory.caltech.edu/people/preskill/bets.html. Kara delik bilgi kaybı paradoksu üzerine derinlemesine bir açıklama için, *bkz.* Susskind (2008).

Bilginin kara deliklerde kaybolduğunu otuz yıl savunduktan sonra, Hawking'i bilginin aslında korunduğu konusunda ikna eden neydi? Yanıt uzay-zaman ve entropi üzerine bazı derin fikirlerle ilgilidir, bu yüzden bir ardalan oluşturmamız gerekir.

BİR KUTUYA KAÇ ADET DURUM SIĞAR?

Zaman oku üzerine olacağı varsayılan bir kitapta kara delikler üzerinde bu kadar uzun durmamızın bir nedeni var: zaman okunu sürükleyen entropideki yükseliş, bu da nihayetinde, evrenin tarihindeki, kütleçekimin temelden önemli olduğu bir dönem olan Büyük Patlama yakınlarındaki düşük entropiden kaynaklanıyor. Dolayısıyla kütleçekimin mevcudiyetinde entropinin nasıl işlediğini bilmeye gerek duyuyoruz, ama kuantum kütleçekim üzerine anlayışımızın yetersiz olması bizi engelliyor. Elimizdeki tek ipucu Hawking'in bir kara deliğin entropisi için formülü, bu yüzden de bizi nereye götüreceğini görmek üzere bu ipucunu izlemek istiyoruz. Ve gerçekten de kara delik entropisini ve bilgi kaybı paradoksunu anlama çabaları, uzay-zaman ve kuantum kütleçekimde durum uzayı anlayışımız üzerinde dramatik sonuçlar doğurdu.

Şu bilmeceyi düşünün: Bir kutuya ne kadar entropi sığar? Boltzmann ve çağdaşları için bu aptalca bir soru olurdu – istediğimiz kadar entropi sığdırabiliriz. Gaz molekülleriyle dolu bir kutumuz varsa, her belli molekül sayısı için bir en yüksek entropi durumu olacaktır (bir denge kurulumu): gaz sabit sıcaklıkta kutuya düzgün bir şekilde dağılacaktır. Ama istersek kutuya kuşkusuz daha fazla entropi sığdırabiliriz; tek yapmamız gereken daha fazla molekül eklemektir. Moleküllerin belli bir yer kapladığı ve dolayısıyla kutuya sıkıştırabileceğimiz molekül sayısının bir sınırı olduğunu düşünürseniz, akıllılık edip gaz molekülleri yerine foton (ışık parçacığı) dolu bir kutu düşünebilirsiniz. Fotonlar sınırsız birbirlerinin üzerine yığılabilir böylece kutuda istediğimiz kadar fotonumuz olabilir. Bu bakış açısından, yanıt belli bir kutuya sonsuz (ya da en azından keyfi yüksek) miktarda entropi sığdırabilirsiniz. Üst sınır yoktur.

Ama bu öyküde can alıcı bir unsur eksiktir: kütleçekim. Kutuya giderek daha fazla malzeme koyarsak, içerideki kütle yükselir.[20]

[20] Bu sonuçtan, bir kez daha fotonlara başvurarak kurtulabileceğimizi düşü-

Eninde sonunda kutuya doldurduğumuz malzeme de nükleer yakıtını tüketen kütleli bir yıldızın kaderini paylaşır: kendi kütleçekim kuvveti altında çöküp bir kara delik oluşturur. Bu her olduğunda, entropi yükselir – kara delikte onu oluşturan malzemeden daha fazla entropi vardır. (Yoksa İkinci Yasa kara deliklerin oluşmasını önler.)

Atom dolu kutuların aksine, aynı boyda ama kütleleri farklı kara delikler yapamayız. Bir kara deliğin boyu "Schwarzschild yarıçapı" tarafından belirlenir, bu da tam olarak kütlesiyle orantılıdır.[21] Kütleyi biliyorsanız, boyunu da bilirsiniz; ters yönde, belli boyutlarda bir kutunuz varsa, bunun içine sığdırabileceğiniz kara deliğin azami bir kütlesi vardır. Ama kara deliğin entropisi olay ufkunun alanıyla orantılıysa, bu *belli bir sabit boyda alana sığdırabileceğiniz azami bir entropi miktarı olduğu anlamına gelir ki, bu da o büyüklükte bir kara delik tarafından gerçekleştirilir.*

Bu dikkat çekici bir olgudur. Kütleçekim önem kazandığında entropinin davranışında görülecek dramatik bir farklılığı gösterir. Kütleçekim diye bir şeyin olmadığı farazi bir dünyada, belli bir bölgeye istediğimiz kadar entropi sıkıştırabilirdik, ama kütleçekim bunu yapmamızı engeller.

Bu içgörünün önemi, dönüp Boltzmann'ın, makroskobik olarak ayırt edilemez mikro-durumların sayısının (logaritması olarak) entropi anlayışına kulak verdiğimizde öne çıkar. Sabit boyutlu bir bölgeye sığdırabileceğimiz sonlu miktarda entropi varsa, bu o bölge içinde yalnızca sonlu sayıda olası durum var demektir. Bu

---

nebilirsiniz, çünkü fotonlar sıfır kütleye sahip parçacıklardır. Ama enerjileri vardır; bir fotonun enerjisi, dalga boyu küçükse daha büyük olur. Belli boydaki bir kutumuz olduğuna göre, içerideki her fotonun asgari bir enerji haddi olacaktır; yoksa sığmaz. Ve tüm bu fotonların enerjisi, $E=mc^2$'nin mucizesi sayesinde, kutunun kütlesine katkıda bulunur. (Her foton kütlesizdir, ama bir kutu fotonun, fotonların enerjisinin ışık hızının karesine bölünmesiyle elde edilen bir kütlesi vardır.)

Bir kürenin alanı 4π çarpı yarıçapın karesine eşittir. Kara deliğin olay ufkunun alanı da mantıken 4π çarpı Schwarzschild yarıçapının karesidir. Bu da zaten *fiilen* Schwarzschild yarıçapının tanımıdır, çünkü kara deliğin içindeki çok eğik uzay-zaman tekillik ile ufuk arasındaki uzaklığı hassasiyetle tanımlamayı zorlaştırır. (Unutmayın – bu uzaklık zamansaldır!) Böylece olay ufkunun alanı kara deliğin kütlesinin karesiyle orantılıdır. Bunlar hep sıfır dönüşlü ve net elektrik yükü olmayan kara delikler içindir; delik dönüyor ya da yüklüyse, formüller biraz daha karmaşıktır.

kuantum kütleçekimin, kütleçekim olmayan kuramların davranışından radikal düzeyde farklı derin bir özelliğidir. Bu akıl yürütmenin bizi nereye götürdüğüne bakalım.

HOLOGRAF İLKESİ

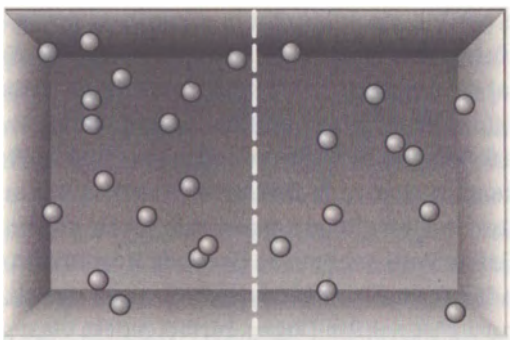
Kara delik entropisinin ne kadar radikal olduğunu değerlendirebilmek için, ilk önce devirdiği o pek sevilen ilkeyi değerlendirmemiz gerekir: *yerellik* [*locality*]. Bu evrendeki farklı yerlerin aşağı yukarı birbirlerinden bağımsız hareket ettikleri fikridir. Belli bir yerdeki bir nesne yakın çevresinden etkilenebilir, ama çok uzakta olanlardan değil. Uzak şeyler, bir yerden diğerine kütleçekim alanında bozulmalar ya da bir elektromanyetik dalga (ışık) gibi işaretler göndererek birbirlerini dolaylı olarak etkileyebilirler. Ama burada olanlar evrenin başka bir bölgesinde olanları doğrudan etkilemez.

Yine dama tahtalarını düşünün. Zamanın bir anında olan, zamanda bir önceki anda olanlar tarafından etkilenir. Ama "uzayda" –tek bir sıradaki kareler topluluğu– bir noktada olan aynı zamanda uzayda başka bir noktada olanla kesinlikle ilişkisizdir. Belli bir sıra boyunca, canımızın istediği herhangi bir gri beyaz dağılımı tasavvur etmekte serbestiz. "Burada gri bir kare olduğunda, yirmi kare sağdaki kare beyaz olmalıdır" tarzı kurallar yoktur. Zaman geçtikçe kareler birbirleriyle "etkileştiğinde" de, bu hep bir yanlarındaki kareyle olur. Benzer şekilde, gerçek dünyada şeyler birbirlerine yakın olduklarında çarpışıp birbirlerini etkilerler, uzak olduklarında değil. Bu yerelliktir.

Yerelliğin entropi için önemli bir sonucu vardır. Hep olduğu gibi, bir kutu gaz düşünün ve kutudaki gazın entropisini hesaplayın. Şimdi, zihnimizde kutuyu ikiye bölelim ve her iki yarıdaki entropiyi hesaplayalım. (Fiziksel bir engel tasavvur etmemize gerek yoktur, yalnızca kutunun sağ yarısını ve sol yarısını ayrı ayrı düşünün.) Kutunun toplam entropisi ile iki yarının ayrı ayrı entropileri arasındaki ilişki nedir?

Yanıt şu: bütün kutunun entropisi için tek yapmanız gereken bir yarının entropisini diğer yarınınkiyle toplamaktır. Bu Boltzmann'ın entropi tanımının doğrudan bir sonucu gibi durur – gerçekten de bu tanımın içinde logaritmanın bulunmasının tüm

nedeni budur. Kutunun bir yarısında izin verilen belli bir mikro-durum sayısı vardır, belli bir sayı da diğer yarısı için. Toplam mikro-durum sayısı şöyle hesaplanır: sol yandaki olası her mikro-durum için, sağ yandaki olası mikro-durumlardan herhangi birini seçme hakkımız vardır. Bu yüzden, mikro-durumların toplam sayısını elde etmek için soldaki mikro-durumların sayısını sağdakilerle çarparız. Ama entropi bu sayının logaritmasıdır ve "X çarpı Y"nin logaritması, "X'in logaritması" artı "Y'nin logaritması" eder.



Şekil 63: Zihinsel olarak ikiye bölünmüş bir kutu gaz. Kutunun toplam entropisi her iki yarının entropilerinin toplamına eşittir.

Bu yüzden, kutunun toplam entropisi sadece ilk alt-kutunun entropilerinin toplamıdır. Gerçekten de özgün kutuyu nasıl bölersek bölelim ya da kaç alt-kutuya bölersek bölelim, bu böyledir; toplam entropi hep alt-entropilerin toplamına eşittir. Bu, bir kutuda elde edebileceğimiz entropinin her zaman kutunun *hacmiyle* orantılı olduğu anlamına gelir – ne kadar yerimiz varsa, o kadar entropimiz olabilir ve bu da eklediğimiz hacimle doğrudan orantılıdır.

Ama bu savdaki gizli kabule dikkat edin: Kutunun bir yarısındaki durumları saydık, sonra diğer yarıdaki sayıyla çarptık. Diğer bir deyişle, kutunun bir yarısında olanların, diğer yarısında olanlardan tamamen bağımsız olduğu kabul edildi. Bu da tam olarak yerellik kabulüdür.

Kütleçekim önemli olduğunda, tüm bunlar dağılır. Kütleçekim bir kutuya sıkıştırabileceğimiz entropiye, kutuya sığabilecek en büyük kara deliğe bağlı olarak bir üst sınır koyar. Ama kara deli-

ğin entropisi kapsadığı hacimle orantılı değildir – olay ufkunun *alanıyla* orantılıdır. Alan ve hacim çok farklıdır! 1 metre çapında bir küremiz olsa ve boyunu iki metre çapa varıncaya kadar büyütsek, içindeki hacim 8 kat (2^3) artar, ama sınırın alanı yalnızca 4 kat (2^2) artar.

Sonuç basittir: Kuantum kütleçekim yerellik ilkesine uymaz. Kuantum kütleçekimde, burada olanlar orada olanlardan tamamen bağımsız değildir. Olabilecek şeyler (bölgedeki olası mikrodurumların sayısı) bölgenin hacmiyle orantılı değildir; bölgeyi kaplayacak şekilde çizebileceğimiz yüzeyin alanıyla orantılıdır. Kuantum kütleçekim tarafından betimlenen gerçek dünya, kütleçekimi hesaba katmadan safça tasavvur edebileceğimizden çok daha az bilginin bir bölgeye sıkıştırılmasına izin verir.

Bu içgörü *holografik ilkeye* yol açmıştır. İlk kez Nobel Ödülü sahibi Hollandalı Gerard 't Hooft ve Amerikalı sicim kuramcısı Leonard Susskind tarafından önerilmiş, daha sonra da Alman-Amerikalı fizikçi Raphael Bousso (Stephen Hawking'in eski öğrencisi) tarafından formalize edilmiştir.[22] Yüzeysel olarak, holografik ilke biraz kuru görünebilir. Doğru, bir bölgedeki olası durumların sayısı bölgenin büyüklüğünün karesiyle orantılıdır, bölgenin büyüklüğünün küpüyle değil. Bu kokteyl partilerde yabancıları büyüleyecek tarzda bir laf değil.

İşte holografinin önemli olmasının nedeni: uzay-zamanın temel olmadığı anlamına gelir. Normalde evrende ne olduğunu düşündüğümüzde, örtülü olarak yerellik gibi bir şeyler düşünürüz; şu yerde ve bu yerde olanları betimleriz ve uzaydaki olası her yer için farklı belirlemeler yaparız. Holografi ilkesel olarak aslında bunu yapamayacağımızı söyler – farklı yerlerde olan şeyler arasında ince karşılıklı ilişkiler vardır, bu da uzayda bir malzeme kurulumunu belirtme özgürlüğümüzü kısıtlar.

Olağan bir holograf, özel bir iki boyutlu yüzeyde ışığı dağıtarak üç boyutlu bir görüntü gibi görünen bir şey sergiler. Holografik ilke de evrenin, temel düzeyde, bunun gibi bir şey olduğunu söyler: üç boyutlu uzayda olduğunu düşündüğünüz her şey gizlice iki boyutlu yüzey değerinde bir bilgiyle kodlanmıştır. İçinde ya-

[22] Holografik ilke Susskind (2008) içinde ele alınmıştır; teknik ayrıntılar için, *bkz.* Bousso (2002).

şadığımız ve nefes aldığımız üç boyutlu uzay, (yine, ilkesel olarak) çok daha yoğun betimlemeden hareketle yeniden inşa edilebilir. Bu betimlemenin aslında ne olduğu bilgisine erişimimiz olabilir de olmayabilir de – genellikle de olmaz, ama gelecek bölümde bunu nerede yapabilecek olduğumuza dair açık bir örneği ele alacağız.

Belki de bunun hiçbir yanı şaşırtıcı değildir. Önceki bölümde ele almış olduğumuz gibi, henüz kütleçekim hiç devreye girmeden bile kuantum mekaniğine içkin bir tür yerel-dışılıktan zaten söz etmiştik; evrenin durumu, her parçacığı tek tek ele almaktansa, bütün parçacıkları tek seferde betimler. Bu yüzden, kütleçekim işin içine girdiğinde, evrenin durumunun bütün uzay-zamanı tek seferde içereceğini düşünmek doğaldır. Ama yine de holografik ilke tarafından ifade edilen yerel-dışılık yalnızca kuantum mekaniğinde olandan farklıdır. Kuantum mekaniğinde, bir kedinin durumunun bir köpeğin durumuyla dolanıklaştığı belli bir dalga fonksiyonu tasavvur edebiliriz, ama aynı kolaylıkla bunların dolanık olmadığı ya da dolanıklığın başka bir biçim aldığı durumlar da tasavvur edebiliriz. Holografi bize gerçekleşemeyecek bazı şeyler olduğunu, dünyayı kodlaması gereken bilginin dramatik düzeyde sıkıştırılabilir olduğunu söyler. Bu fikrin sonuçları hâlâ incelenmektedir ve kuşkusuz daha karşılaşacağımız birçok sürpriz vardır.

HAWKING PES EDER

Holografik ilke çok genel bir fikirdir: doğru olduğu ortaya çıkacak olan kuantum kütleçekim kuramının bir parçası olmalıdır. Ama holografi çalışmasının sonuçlarının nasıl gelişeceğini görebilmek için elimizde oynayabileceğimiz çok özgül bir örneğin bulunması iyi olurdu. Örneğin olağan üç boyutlu uzayımızdaki bir kara deliğin entropisinin olay ufkunun iki boyutlu alanıyla orantılı olduğunu düşünüyoruz; bu durumda, ilkesel olarak, bu kara delikle ilgili olası tüm mikro-durumları bu iki boyutlu yüzeyde gerçekleşebilecek farklı şeyler terimleriyle belirlemek mümkün olmalıdır. Bu kuantum kütleçekim üzerine çalışan birçok kuramcının amacıdır, ama ne yazık ki henüz bunu nasıl yapabileceğimizi bilmiyoruz.

1997'de, Arjantinli-Amerikalı kuramsal fizikçi Juan Maldacena açık bir fiili holografi örneği bularak kuantum kütleçekim anlayışımızda devrim yaptı.[23] Bizimkine hiç benzemeyen farazi bir evren düşündü – bir kere, eksi vakum enerjiye sahipti (halbuki bizimki artı vakum enerjiye sahipmiş gibi duruyor). Artı vakum enerjiye sahip boş uzay "de Sitter uzayı" olarak adlandırıldığından, negatif vakum enerjiye sahip boş uzayı "karşı-de Sitter uzayı" olarak adlandırmak uygundur. Bir diğeri, Maldacena bizim alışılmış dört boyutumuz yerine beş boyut düşündü. Ve nihayet, çok özel bir kütleçekim ve madde kuramı düşündü – genel göreliliğin süpersimetrik bir sürümü olan "süperkütleçekim." Süpersimetri bozonları (kuvvet parçacıkları) ile fermiyonlar (madde parçacıkları) arasındaki farazi bir simetridir ve modern parçacık fiziğinin birçok kuramında can alıcı bir rol oynar; neyse ki, ayrıntıları şu andaki amacımız açısından can alıcı değildir.

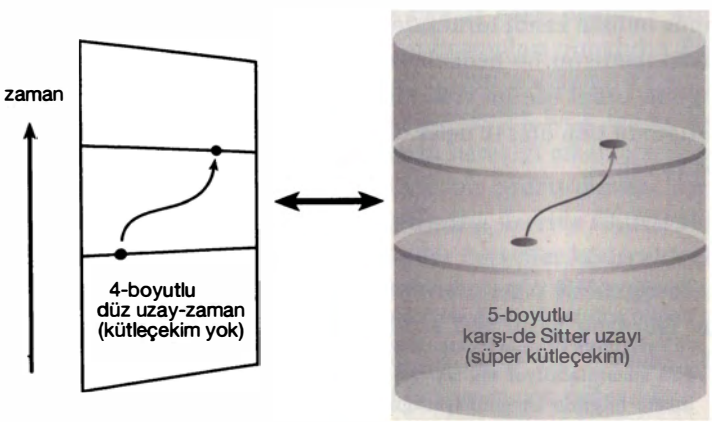
Maldacena bu kuramın –beş boyutlu karşı-de Sitter uzayında süperkütleçekim– tamamen farklı bir kuramla –*hiç kütleçekim olmayan dört* boyutlu bir kuantum kuramıyla– tamamen eşdeğer olduğunu buldu. Fiiliyatta holografi: bu özel beş boyutlu kütleçekimli kuramda olabilecek her şeyin bir boyut düşük kütleçekim olmayan bir kuramda tam bir benzeri vardı. İki kuramın birbiriyle "ikili (düal)" olduğunu söyleriz, bu da farklı gözüktükleri ama aynı içeriğe sahip olduklarını söylemenin süslü yoludur. İki farklı ama eşdeğer lisan olması gibidir ve Maldacena aralarında çeviri yapmamızı sağlayacak Rosetta taşını bulmuştu. Beş boyuttaki belli bir kuramla dört boyutta belli bir kütleçekimsel olmayan kuramdaki durumlar arasında birebir karşılıklılık vardır. Birinde bir durum verildiğinde, bunu diğerindeki bir duruma çevirebiliriz ve her kuramın hareket denklemleri kendi durumlarında aynı çeviri sözlüğüne göre birbirlerine karşılık gelen yeni durumlara evrilir-

[23] Maldacena (1998). Maldacena'nın makalesinin başlığından ("Süperkonformal Alan Kuramları ve Süperkütleçekimin Büyük *N* Limiti") sonuçlarının heyecanı hemen anlaşılmıyordu. Juan 1997'de bir seminer vermek üzere Santa Barbara'ya geldiğinde, bu başlıkta özel bir çekicilik görmediğimden odamda kalıp çalışmıştım. Konuşma "Beş Boyutlu Kütleçekimli Bir Kuram ile Dört Boyutlu Kütleçekimsiz Bir Kuram Arasında Bir Eşdeğerlik" olarak ilan edilseydi, muhtemelen seminere katılırdım. Sonrasında, koridorda geçen konuşmalardan –heyecanlı, neredeyse çılgınca, yeni fikirlerin sonuçlarını görmek üzere karatahtalara karalamalar yapılıyordu– büyük bir şeyler kaçırdığımı anlamak kolay oldu.

ler (en azından ilkesel olarak; uygulamada yalnızca basit örnekleri işleyebiliyoruz, karmaşık durumlar çözümü olanaksız duruma gelir). Açıktır ki, karşılıklılığın yerel-dışı olması gerekir; dört boyutlu uzaydaki noktalarla beş boyutlu uzaydaki noktaları eşleştiremezsiniz. Ama bir kuramdaki belli bir zamanda tanımlanmış durumları, diğer kuramdaki durumlarla eşleştirebilirsiniz.

Bu sizi uzay-zamanın temel olmadığı konusunda ikna edemediyse, ne eder tasavvur edemiyorum. Elimizde tamamen aynı kuramın iki farklı sürümünün açık bir örneği var, ama farklı boyut sayısına sahip uzay-zamanları betimliyorlar! Hiçbir kuram "doğru olanı" değil; ikisi de birbirleriyle tamamen eşdeğer.

Maldacena'nın buluşu Stephen Hawking'in Preskill ve Thorne'la olan bahisten çekilmeye ikna olmasına yardımcı oldu (ama Hawking, alışkanlığı olduğu üzere, ikna olmadan önce konuyu kendine göre çözdü). Söz konusu olanın, kara delik buharlaşması sürecinin, olağan kuantum mekaniğine göre evrimin aksine bilgiyi yok ettiği mi yoksa kara deliğe giren bilginin bir şekilde Hawking ışınımıyla taşındığı mı üzerine bir bahis olduğunu anımsayın.



Şekil 64: Maldacena karşılıklılığı. Beş boyutlu bir karşı-de Sitter uzayındaki bir kütleçekim kuramı, dört boyutlu düz uzay-zamandaki kütleçekimsiz bir kuramla eşdeğerdir.

Maldacena haklıysa, bu sorunu beş boyutlu karşı-de Sitter uzayında düşünebiliriz. Bu gerçek dünya değildir, ama gerçek

dünyadan farklı olduğu hususlar bilgi-kaybı bilmecesi açısından aşırı önemli değilmiş gibi görünmektedir – özellikle eksi kozmolojik sabitin çok küçük ve özünde önemsiz olduğunu tasavvur edebiliriz. Böylece karşı-de Sitter uzayında bir kara delik yapıp sonra buharlaşmaya terk edebiliriz. Bilgi kayboluyor mu? Eh, o zaman sorunu dört boyutlu kuramda benzer bir duruma çevirebiliriz. Ama bu kuramda kütleçekim yoktur ve dolayısıyla olağan kuantum mekaniği kurallarına uyar. Beş boyutlu kütleçekimli kuramla tamamen eşdeğer olduğu varsayılan dört boyutlu kütleçekimsiz kuramda bilginin kaybolma olanağı yoktur. Bu yüzden, can alıcı bir incelik kaçırmadıysak, kara delik buharlaşması sırasında bilgi bir şekilde korunuyor olmalıdır.

Hawking'in bahisten vaz geçmesinin ve şimdi kara deliklerin bilgiyi yok etmediğini kabul ediyor olmasının temel nedeni budur. Ama bu savın, görünürde sağlam olmasına karşın, yine de bir şekilde dolaylı olduğunu görmeniz gerekir. Özellikle, bilginin fiilen Hawking ışınımına nasıl geçtiği konusunda bize herhangi bir somut fiziksel anlayış kazandırmaz.* Anlaşılan oluyor, ama açık mekanizması hâlâ müphemliğini koruyor. Thorne da işte bu nedenle henüz bahsin kendi tarafından henüz çekilmiş değil ve Preskill de ansiklopedisini bu nedenle isteksizce kabul etti. Bilginin korunduğunu kabul edelim etmeyelim, açıktır ki kara deliklerin buharlaştığında tam olarak neler olduğunu anlamak için yapacak daha çok iş var.

Hawking, 2016 yılında yayımlanan *Black Holes; BBC Reith Lectures* (Bantam Books) adlı kitabında konuya biraz daha açıklama getirir: " O nedenle, kara deliklerde bilgi gerçekten kayboluyor mu yoksa en azından ilkesel olarak geri kazanılabiliyor mu tartışması çok hayati bir tartışmadır. Birçok bilim insanı bilginin kaybolmayacağını düşünüyor ama hiç kimse bilginin hangi mekanizmayla korunabildiğini de açıklayamıyor. Karşılıklı argümanlar yıllardır ortaya atılıp duruyor. Sonunda yanıtı bulduğumu düşünüyorum. Yanıt, Richard Feynman'ın tek bir geçmiş yerine, her biri belli bir olasılığa sahip birçok olası geçmiş olması fikrine dayanıyor. Söz konusu bu durumda, iki tür geçmiş var. Birinde, içine parçacıkların düşebildiği bir kara delik var; diğerinde kara delik yok." Stephen Hawking, *Kara Delikler: BBC Reith Dersleri*, çev. Kerem Cankoçak, Alfa Bilim, 2017, s. 66 –yn.

BİR SİCİM KURAMI SÜRPRİZİ

Kara delik entropisi öyküsünde zaman okuyla doğrudan ilişkisi bulunmayan bir husus var, ama öylesine kışkırtıcı ki, kısaca da olsa söz etmeden geçemeyeceğim. Konu sicim kuramında kara delik mikro-durumlarının doğası üzerine.

Boltzmann'ın entropi kuramının büyük zaferi, gözlemlenebilir bir makroskobik niceliği –entropi– mikroskobik bileşenler terimleriyle açıklayabilmesidir. En çok ilgilendiği örneklerde bileşenler bir kutudaki gazı oluşturan atomlar ya da birbirleriyle karışan iki sıvıdaki moleküllerdi. Ama bu içgörünün tamamen genel olduğunu düşünmek isteriz; S entropisinin, mikro-durumların yeniden düzenlenebilecekleri olasılıkların sayısı olan W'nin logaritmasıyla orantılı olduğunu ifade eden $S = k \log W$ formülü herhangi bir sistem için geçerli olmalıdır. Mesele mikro-durumların ne olduğunu ve bunların kaç türlü düzenlenebileceğini belirlemektir. Diğer bir deyişle, bu sistemin "atomları" nedir?

Hawking'in bir kara deliğin entropisi üzerine formülü bize, herhangi bir makroskobik kara deliğe karşılık gelen çok yüksek sayıda mikro-durum olduğunu söyler gibidir. Bu mikro-durumlar nelerdir? Klasik genel görelilikte bunlar bariz değildir. Nihayetinde, bunlar kuantum kütleçekimin durumları olmalıdır. Kötü haber şudur ki, gerçek dünyada kuantum kütleçekimi o kadar iyi anlamıyoruz ve bu yüzden de bir makroskobik kara deliğe karşılık gelen tüm farklı mikro-durumların listesini çıkartamıyoruz. İyi haber şu ki, Hawking'in formülünü bir *ipucu* olarak, kuantum kütleçekimin nasıl çalışıyor olabileceği üzerine fikirlerimizi sınamak için kullanabiliriz. Her ne kadar fizikçiler kütleçekim ile kuantum mekaniğini uzlaştıracak bir yol olması gerektiği konusunda ikna olmuş olsalar da probleme doğrudan deneysel veri sağlamak zordur, çünkü kütleçekim çok zayıf bir kuvvettir. Bu yüzden keşfedebileceğimiz herhangi bir ipucu çok değerlidir.

Tutarlı bir kuantum kütleçekim kuramı olmak için önde gelen aday *sicim kuramıdır*. Bu basit bir fikirdir: maddenin bileşenlerinin nokta benzeri parçacıklar olacağına, tek boyutlu "sicim" parçaları olduğunu tasavvur edin. (Sicimlerin neden yapıldığını sormamanız gerekiyor; daha temel bir şeyden yapılmış değiller.) böylesi bir öneriyle fazla yol yapabileceğinizi düşü-

müyor olabilirsiniz – peki, parçacık yerine sicimlerimiz var, ne olmuş yani?

Sicim kuramının büyüleyici yanı, çok kısıtlayıcı bir fikir olmasıdır. Temel parçacık fikrinden oluşturulabileceğini tasavvur edebileceğimiz birçok farklı kuram vardır, ama çok az tutarlı kuantum mekaniği sicim kuramı vardır – şu andaki en iyi tahminimiz sadece bir adet olduğudur. Ve bu bir tek kuram da mutlaka belli unsurlarıyla birlikte gelir – fazladan uzay boyutları, süpersimetri ve üst boyutlardaki zarlar (sicim gibi bir şeyler, ama iki ya da daha fazla boyutlu). Ve en önemlisi kütleçekimle birlikte gelir. Sicim kuramı en başta nükleer kuvvetler kuramı olarak araştırılmıştı, ama sıra dışı bir nedenle bu iyi sonuç vermedi – kuram kütleçekim gibi bir kuvvetin varlığını öngörüp duruyordu! Bu yüzden kuramcılar bari bu limonu alıp bir limonata yapalım dediler ve sicim kuramını bir kuantum kütleçekim kuramı olarak incelemeye başladılar.[24]

Sicim kuramı doğru kuantum kütleçekim kuramıysa –henüz olup olmadığını bilmiyoruz, ama umut vaat eden işaretler var– o zaman Bekenstein-Hawking entropisinin nereden çıktığı üzerine mikroskobik bir anlayış sağlamalıdır.

Dönüm noktası 1996'da Leonard Susskind ve Ashoke Sen'in önceki çalışmaları üzerine inşa eden Andrew Strominger ve Cumrun Vafa tarafından sağlandı.[25] Maldacena gibi, onlar da beş boyutlu uzay-zaman düşündüler, ama eksi vakum enerjileri yoktu ve birincil olarak holografiyle ilgilenmiyorlardı. Onun yerine, sicim kuramının ilginç bir özelliğinden yararlandılar: kütleçekim şiddetini "ayarlama" becerisini. Gündelik dünyamızda, kütleçekim kuvvetinin şiddeti, *G* olarak gösterilen Newton'ın kütleçekim sabiti tara-

---

[24] Sicim kuramının iyi tarafı, eşsiz bir kuram olmasıdır; kötü tarafıysa, bu kuramın birçok farklı safhası varmış gibi durmasıdır ki bunlar da aşağı yukarı tamamen farklı kuramlar gibidir. Suyun koşullara bağlı olarak buz, sıvı ya da su buharı gibi biçimler aldığı gibi, sicim kuramında da uzay-zaman farklı türden parçacıklar ve hatta farklı sayıda gözlemlenebilir uzay boyutlarıyla birçok farklı safhada olabilmektedir. "Birçok" dediğimizde de şaka etmiyoruz – insanlar 10.500 farklı safha gibi sayılar ortaya atıyorlar ve bu pekâlâ sonsuz sayıda da olabilir. Bu yüzden sicim kuramının kuramsal eşsizliğinin uygulamada, bizim dünyamızın parçacıklarını ve karşılıklı etkileşimlerini anlamada pek bir yararı yokmuş gibi duruyor. Sicim kuramının tanıtımı için *bkz.* Greene (2000) ya da Musser (2008) ve birçok farklı safhanın sorunları üzerine (iyimser) bir tartışma için Susskind (2006).

Strominger ve Vafa (1996). Popüler düzeyde bir anlatı için, *bkz.* Susskind (2008).

fından belirlenir. Ama sicim kuramında kütleçekim şiddeti değişken olur – bir yerden diğerine, bir zamandan ötekine değişebilir. Ya da düşünce deneylerinin elastik ve maliyet-etkin dünyasında, belli bir malzeme kurulumuna kütleçekim "kapatılmış" (*G* sıfır olarak ayarlanmış) olarak bakmayı seçebilir, sonra da aynı kuruluma kütleçekim "açılmış" (*G* kütleçekimin önemli olacağı kadar yüksek bir değerde belirlenmiş) olarak bakabilirsiniz.

Böylece Strominger ve Vafa beş boyutlu, düzeneğin kütleçekimi varken de yokken de incelenebileceği şekilde dikkatle seçilmiş bir sicimler ve zarlar kurulumuna baktılar. Kütleçekim açıldığında, kurulumları bir kara deliğe benziyordu ve Hawking'in formülünden entropinin ne olması gerektiğini biliyorlardı. Ama kütleçekim kapatıldığında, temelde bir kutu gazın sicim kuramı karşılığını elde ettiler. Bu durumda, entropiyi (ele aldıkları sicimsi malzemeye uygun yüksek güçlü matematik kullanmalarına karşın) görece geleneksel yolardan hesaplayabilirlerdi.

Yanıt şu oldu: Entropi uyuyordu. En azından bu örnekte, bir kara delik pürüzsüzce, mikro-durum uzayının neye benzediğini kesinlikle bildiğimiz ve Boltzmann'ın formülüyle hesaplanan entropinin Hawking'in formülündekiyle sayılardaki en son haneye kadar uyuştuğu görece olağan malzemeye dönüştü.

Kuantum kütleçekimdeki durum uzayı üzerine tamamen genel bir anlayışa sahip değiliz, bu yüzden entropi konusunda hâlâ birçok esrar var. Ama Strominger ile Vafa'nın incelediği o örnekte (ve daha sonra incelenen çeşitli benzer durumlarda), sicim kuramı tarafından öngörülen mikro-durum uzayı Hawking'in eğik uzayzamanda kuantum alan kuramı kullanarak gerçekleştirdiği hesaplamasından beklenenlere kesinlikle uyuyor gibi görünüyor.[26] Bu bize aynı doğrultudaki araştırmaların sürdürülmesinin kuantum kütleçekimin –Büyük Patlamada neler olduğu da içinde olmak üzere– başka şaşırtıcı özelliklerini de anlamamıza yardımcı olacağı konusunda umut veriyor.

[26] Strominger-Vafa çalışması sicim kuramında bir kara deliğin durum uzayının entropiyi açıklayabilecek bir boyuta sahip olduğunu ima ederken, kütleçekimi devreye girdiğinde bu durumların neye benzeyeceği konusunda pek bir şey söylemez. Samir Mathur ve iş arkadaşları bunların "yün yumağı" (*fuzzball*) olabileceklerini önerdiler – olay ufku içerisinde kara deliğin hacmini dolduran dalgalanan sicim kurulumları (Mathur, 2005).

13
EVRENİN YAŞAMI

Zaman çok iyi bir öğretmendir, ama ne yazık ki bütün öğrencileri öldürür.

–Hector Berlioz

Evren neye *benziyor olmalıdır*?

Bu akılcı bir soru olmayabilir. Evren eşsiz bir varlıktır; normalde düşündüğümüz, hepsi de evrenin *içinde* var olan şeylerden farklıdır. Evrenin içindeki nesneler daha büyük, hepsi de aynı özellikleri paylaşan nesnelerin topluluklarına aittir. Bu özellikleri inceleyerek o türden şeylerden ne bekleyebileceğimize dair bir his ediniriz. Kedilerin dört bacağı olmasını, dondurmanın tatlı olmasını süperkütleli kara deliklerin de sarmal galaksilerin merkezinde bulunmalarını bekleriz. Bu beklentilerin hiçbiri mutlak değildir; eğilimlerden söz ederiz, doğa yasalarından değil. Ama deneyimler bize belli türden şeylerin belli özellikleri olmasını beklememizi öğretir ve beklentilerimizin karşılık bulmadığı o sıra dışı koşullarda doğal olarak bir tür açıklama aramaya yöneliriz. Üç bacaklı bir kedi görürsek, diğer bacağına ne olduğunu merak ederiz.

Evren farklıdır. Kendi başınadır, daha büyük bir sınıfa ait değildir. (Başka evrenler var olabilir, en azından kimi "evren" tanımlamaları altında; ama kuşkusuz henüz hiçbirini gözlemlemedik.) Bu yüzden evrenin neye benzemesi gerektiği konusunda herhangi bir beklentiyi doğrulayacak aynı türden –bir şeyin birçok örneğini incelemek ve ortak özellikler belirlemek gibi– tümevarımcı, deneysel akıl yürütmede bulunamayız.[1]

[1] On sekizinci yüzyılda, Gottfried Wilhelm Leibniz İlksel Varoluşsal Soruyu sordu: "Neden hiçbir şey olmaması yerine bir şey var?" ("Neden olmasın?" diye yanıtlayabilirsiniz.) Sonrasında, kimi filozoflar, "hiçbir şeyin" "bir şeyden"

Yine de bilim insanları evrenin kimi özelliklerinin "doğal" olduğunu hep ilan etmişlerdir. Özellikle, erken evrenin düşük entropisinin şaşırtıcı olduğunu önereceğim ve altta yatan bir neden olduğunu öne süreceğim. Kırılmamış bir yumurtanın bir omlete kıyasla düşük entropili bir kurulum olduğunu gördüğümüzde, doğrudan bir açıklamaya başvururuz: Yumurta kapalı bir sistem değildir. Bir tavuktan çıkmıştır ve o da burada, yeryüzündeki bir ekosistemin bir parçasıdır, o da düşük entropili geçmişi olan bir evrenin içindedir. Ama evren, en azından ilk bakışta, kapalı bir sistem gibi görünmez – Evrensel Tavuktan ya da buna benzer bir şeyden doğmamıştır. Gerçekten kapalı, çok düşük entropili bir fiziksel sistem şaşırtıcıdır ve daha büyük bir şeylerin olduğunu akla getirir.[2]

Gözlemlenen evrenin düşük erken dönem entropisi ya da küçük vakum enerjisi gibi herhangi bir görünürde şaşırtıcı özelliği karşısında doğru davranış, bunu daha derin bir anlayışın olası ipucu gibi ele almaktır. Bu tür gözlemler gözde bir kuramla açık deneysel uyuşmazlık kadar kesin değildir; yalnızca öneri düzeyindedir. Zihnimizin ardında, evrenin kurulumu tüm olası kurulumlar arasından rastgele seçilmişse, bunun yüksek entropili bir durum olacağını düşünürüz. Öyle değildir, demek ki evrenin durumu rastgele seçilmemiştir. O zaman, nasıl seçilmiştir? Kaçınılmaz bir şekilde evrenimizin görünürde rastgele olmayan kurulumuna yol açan belli bir süreç, belli bir dinamik olaylar zinciri mi vardır?

---

daha basit olduğunu öne sürerek, evrenin varoluşunun bile bizi şaşırtması gerektiğini savundu (örneğin Swinburne, 2004). Ama bu, bir şekilde kuşkulu "basitlik" tanımının yanında, belli basitlik türünün evrenin sahip olması gereken bir şey olduğu fikrinin de var olduğunu farz eder – her ikisi de deneyim ya da mantıkla doğrulanmamıştır. Bunun bir tartışması için *bkz.* Grünbaum (2004).

Bazıları Tanrı'nın evreni düşük entropili başlangıcını açıklayacak belli bir durumda yaratarak Evrensel Tavuk rolünü oynadığını öne sürecektir. Bu çok da tutumlu bir açıklayıcı çerçeveye benzemiyor, çünkü entropinin neden bu kadar düşük olduğu ve (birçok başkasının yanında) neden evrende yüz milyar galaksi olduğu açık değildir. Daha da önemlisi, bilim insanları olarak en çok şeyi en az şeyle açıklamak isteriz, bu yüzden gözlemlenen evrenimizin düşük entropisini fizik yasalarından başka bir şeye başvurmadan açıklayacak doğacı bir kuram geliştirebilirsek, bu bir zafer olacaktır. Tarihsel olarak, bu hayli başarılı bir strateji olmuştur; doğacı açıklamalardaki "boşluklara" işaret edip bunları yalnızca Tanrı'nın doldurabileceğinde ısrarcı olmaksa, tersine, hüzünlü bir başarı geçmişine sahiptir.

SICAK, DÜZENLİ İLK GÜNLERİMİZ

Evrenimizi rastgele seçilmiş bir kurulumdaki fiziksel bir sistem olarak düşünürsek, "Evren neye benziyor olmalıdır?" sorusu "Yüksek entropili bir durumda olmalıdır," olarak yanıtlanır. Dolayısıyla evrenin yüksek entropili durumunun neye benzeyeceğini anlamamız gerekir.

Sorunun böyle biçimlendirilmesi bile pek de doğru değildir. Evrenin şu andaki durumu bizi aslında ilgilendirmiyor; ne de olsa, dün farklıydı ve yarın da yine farklı olacaktır. Asıl ilgilendiğimiz evrenin tarihidir, zaman içindeki evrimi. Ama neyin doğal bir tarih oluşturacağını anlamanın ön şartı, yüksek entropili durumlar da içinde olmak üzere durum uzayı üzerine bir şeyler anlamamızdır.

Kozmologlar bu konuyu ele almakta geleneksel olarak çok kötü bir performans göstermiştir. Bunun birkaç nedeni vardır. Biri, evrenin sıcak, yoğun bir erken durumdan genişlemiş olması o kadar tartışılmaz, kaba bir olgudur ki, bir kez bu fikre alıştığınızda, herhangi bir seçeneği düşünmek zorlaşır. Bir kuramsal kozmolog olarak görevinizi, evrenimizin neden başka bir sıcak, yoğun erken durumda değil de bu sıcak yoğun erken durumda başladığını açıklamak olarak görmeye başlarsınız. Bu en tehlikelisinden zamansal şovenizmdir – düşünmeden, "Neden evrenin başlangıç koşulları öyle düzenlenmiştir?" sorusunun yerine, "Neden evren böyle evrildi?" sorusunu koymak.

Evrenin entropisi üzerine daha üretken çalışmaların önündeki diğer engel de kütleçekimin kaçınılmaz rolüdür. "Kütleçekim" derken, genel görelilikle eğik uzay-zamanla ilgili her şeyden söz ediyoruz – ağaçtan düşen elmalar ve yıldızların yörüngesindeki yıldızlar gibi gündelik şeylerin yanında, kara delikler ve evrenin genişlemesi. Geçen bölümde, büyük bir kütleçekim alanına sahip bir nesnenin entropisini bildiğimizi düşündüğümüz bir örneğe odaklandık: bir kara deliğe. Bir kara delik olmayan tüm evren üzerine düşündüğümüzde bu örnek doğrudan yardımcı olmazmış gibi görünüyor; bir beyaz deliğe yüzeysel bir benzerliği var (çünkü geçmişinde bir tekillik var), ama bu da çok yardımcı değil, çünkü dışında değil, içindeyiz. Kütleçekim kuşkusuz evren için önemli ve bu uzayın hızla genişlediği erken dönemler için özellikle geçerli.

Ama bunun önemli olduğunu idrak etmek problemi çözmemizde yardımcı olmaz, bu yüzden insanlar çoğunlukla bunu bir kenara atarlar.

Başka bir strateji daha var, bu ilk bakışta masum görünür, ama gerçekte cana alıcı olma olasılığı taşıyan bir hatayı gizler. Bu, kütleçekimi başka her şeyden ayırmak ve uzay-zaman içindeki madde ile ışınımın entropisini hesaplayıp bizatihi uzay-zamanınkini unutmaktır. Kuşkusuz, bir kozmolog olup uzayın genişlediğini göz ardı etmek zordur; ama uzayın genişlemesini verili olarak alıp yalnızca böylesi bir ardalanda "malzemenin" (olağan madde parçacıkları, kara madde, ışınım) durumunu ele alabiliriz. Genişleyen evren maddeyi seyreltip ışınımı soğutur, tıpkı hareket etmeleri için daha fazla yer açmak üzere yavaşça çekilen bir pistonun içindeki parçacıklar gibi. Tıpkı genişleyen bir pistonun içindeki moleküller topluluğunun entropisinin hesaplanmasının mümkün olduğu gibi, bu belli ardalandaki malzemenin entropisini hesaplamak da mümkündür.

Erken evrenin herhangi bir anında, neredeyse sabit sıcaklıkta ve yer yer neredeyse sabit yoğunlukta bir parçacık gazı vardır. Diğer bir deyişle, yaklaşık termal dengede gibi görünen bir kurulum. Tam olarak termal dengede değildir, çünkü denge durumunda hiçbir şey değişmez ve genişleyen evrende şeyler soğuyup seyrelmektedir. Ama parçacıkların birbirleriyle çarpışma oranlarıyla karşılaştırıldığında, uzayın genişlemesi görece yavaştır, bu yüzden de soğuma da hayli kademeli. Erken evrendeki yalnızca madde ve ışınımı ele alırsak ve genel genişleme dışında kütleçekim etkisini ihmal edersek, göreceğimiz, kademeli bir şekilde azalan yoğunluk ve sıcaklığa sahip, termal dengeye çok yakın bir kurulumlar silsilesidir.[3]

[3] Bu, hayli yakın bir yaklaştırım olsa da tam olarak doğru değildir. Belli türde bir parçacık çok zayıf bir şekilde evrendeki madde ve ışınımla eşleşiyorsa, özünde etkileşmeye son verebilir ve çevresindeki denge kurulumuyla temasını kaybedebilir. Bu "donma" olarak adlandırılan ve kozmologlar için can alıcı öneme sahip bir süreçtir – örneğin herhalde çok erken bir dönemde yalıtılmış kara madde parçacıklarının yaygınlığını hesaplamak istediklerinde. Doğrusu, geç evrende (günümüz) madde ve ışınım uzun süre önce donmuştur ve biz, kütleçekimi görmezden gelseniz dahi artık dengede değiliz. (Kozmik mikrodalga ardalanının sıcaklığı 3 Kelvin civarındadır, yani dengede olsaydık, etrafınızdaki her şeyin 3 Kelvin sıcaklıkta olması gerekirdi.)

Ama bu kuşkusuz hazin bir şekilde eksik bir öyküdür. Termodinamiğin İkinci Yasası, kapalı bir sistemin entropisi ya yükselir ya da sabit kalır," der; "Kapalı bir sistemin entropisi, kütleçekimi görmezden gelirseniz ya yükselir ya da sabit kalır," demez. Fizik yasalarında, önemli olduğu durumlarda kütleçekimi ihmal etmemize izin veren bir kural yoktur ve kozmolojide bu başat önemdedir.

Entropide kütleçekimin etkilerini görmezden gelip sadece madde ve ışınımı hesaba katmak, bizi anlamsız sonuçlara yöneltir. Erken evrende madde ve ışınım termal dengeye yakındı, bu da (kütleçekim ihmal edilirse) azami entropi durumunda olduğunu gösterir. Ama günümüzde, geç evrende, açıkça termal dengede değiliz (olsaydık, çevremizde sabit sıcaklıkta gazdan başka bir şey olmazdı), bu yüzden açıkça bir azami entropi kurulumunda *değiliz*. Ama entropi azalmadı – bu İkinci Yasayı çiğnemiş olurdu. Peki neler oluyor?

Olan şu ki kütleçekimi görmezden gelmek doğru değildir. Ne yazık ki, kütleçekimi hesaba katmak o kadar kolay değildir, çünkü kütleçekim işin içine dahil edildiğinde entropinin nasıl işlediğini anlamıyoruz. Ama görecek olduğumuz gibi, çok ilerleme kaydedecek kadar biliyoruz.

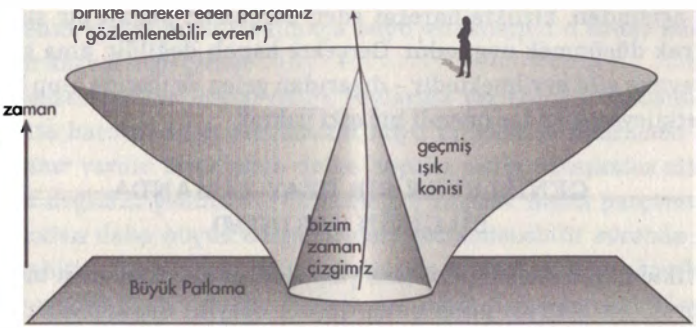
EVRENİMİZ DERKEN NEYİ KASTEDİYORUZ?

Şimdiye kadar, çoğunlukla iyice yerleşmiş zeminde kaldım: ya tüm iyi çalışan fizikçilerin doğru olduğunda uzlaştığı şeyleri gözden geçirdim ya da tüm iyi fizikçileri doğru olduğunda uzlaşmasının *gerektiği* kesinlikle gerçek şeyleri açıkladım. Birkaç gerçekten tartışmalı istisna için (örneğin kuantum mekaniğinin yorumlaması gibi) bunların üzerinde anlaşmaya varılmamış konular olduğunu belirtmeye çalıştım. Ama kitabın bu noktasında, daha spekülatif ve aykırı olmaya başlıyoruz – benim de gözde bakış açım var, ama bu sorunlarda yerleşmiş bir akıl yok. Kesinlikle doğru şeylerle daha geçici fikirleri ayırt etmeyi sürdürmeye çalışacağım, ama konuyu ortaya koyarken olabildiğince dikkatli olmak da önemli.

İlk iş, "bizim evrenimiz" derken neyi kastettiğimiz konusunda hassas olmalıyız. Evrenin tümünü görmüyoruz; ışık sonlu bir hızda ilerliyor ve ötesini göremediğimiz –ilkesel olarak Büyük Patla-

ma tarafından, uygulamada Büyük Patlamadan yaklaşık 380.000 yıl sonra evrenin şeffaf olduğu anla belirlenen– bir sınır var. Gördüğümüz kısım içinde, evren büyük ölçeklerde bağdaşıktır; her yerde aşağı-yukarı aynı görünür. Buna bağlı olarak görmekte olduğumuzu alıp bunu utanmadan görmediğimiz yerlere de dışdeğerleme uygulayarak tüm evrenin sonuna kadar –evren "kapalıysa" sonlu boyutlarda bir hacimde, evren "açıksa" sonsuz büyük bir hacimde– bağdaşık olduğunu tasavvur etmek yönünde güçlü bir eğilim var.

Ama görmediğimiz evrenin gördüğümüzle bu kadar kesinlikle uyuştuğuna inanmak için gerçekten o kadar iyi bir neden yok. Bu basit bir başlangıç kabulü olabilir, ama daha fazlası değil. Gördüğümüz kısmının ötesinde bir yerlerde evrenin eninde sonunda (farklı yerlere gelmeden önce bir süre tekbiçimli görünmeyi sürdürse de) tamamen farklı görüneceği olasılığına da açık olmalıyız.



Şekil 65: "Gözlemlenebilir evren" olarak adlandırdığımız, uzayın "birlikte hareket eden" bir parçasıdır – evrenle birlikte genişler. Evrenin gözlemleyebildiğimiz parçasını tanımlayabilmek için ışık konimiz boyunca Büyük Patlamaya kadar geri döneriz ve bu bölgenin evren genişlerken büyümesine izin veririz.

Bu yüzden, evrenin geri kalanını bir kenara bırakıp görebildiğimiz kısmına odaklanalım – "gözlemlenebilir evren" dediğimiz şeye. Çevremizde 40 milyar ışık yılı kadar uzanır.[4] Ama evren

[4] Işık hızının Hubble sabitine bölünmesi "Hubble uzunluğunu" tanımlar, bu da şimdiki evrende 14 milyar ışık yılı tutar. Çok da çılgın olmayan kozmologlar için, bu nicelik evrenin yaşı ile ışık hızının çarpımına neredeyse eşittir, bu yüzden de birbirlerinin yerine kullanılabilirler. Evren farklı zamanlarda

genişlemekte olduğundan, şu anda gözlemlenebilir evren olarak adlandırdığımız şeyin içindeki malzeme geçmişte daha küçük bir bölgeye sıkışmıştı. Bizim yaptığımız, şu andaki gözlemlenebilir evrenimizin çevresine bir tür hayali çit çekmek ve çitin evrenle birlikte genişlemesine (ve geçmişte daha küçük olmasına) izin verip, çitin içinde olanların hesabını tutmaktır. Bu uzayın bizim *birlikte hareket eden parçası* olarak bilinir ve "bizim gözlemlenebilir evrenimiz" derken aklımızda olan budur.

Birlikte hareket eden uzay parçamız, kuşkusuz tam anlamıyla bir kapalı sistem değildir. Bir gözlemci hayali çitte yer alırsa, parçamıza girip çıkan çeşitli parçacıklar fark edecektir. Ama ortalamada aynı sayı ve çeşitte parçacıklar girip çıkacak ve toplamda temelde ayırt edilemez olacaklardır. (Kozmik mikrodalga ardalanının pürüzsüzlüğü, evrenimizin tekbiçimliliğinin, ilerisinde nereye kadar ilerlediğinden emin olmasak bile parçanın sınırına kadar uzandığına bizi ikna etmiştir.) Bu yüzden tüm pratik amaçlar açısından, birlikte hareket eden parçamızı kapalı bir sistem olarak düşünmek uygundur. Gerçekte kapalı değildir, ama sanki öyleymiş gibi evrilmektedir – dışarıdan gelen ve içeride olup biteni etkileyecek kadar önemli bir etki yoktur.

GENİŞLEYEN BİR UZAY-ZAMANDA BİLGİNİN SAKINIMI

Birlikte hareket eden parçamız yaklaşık bir kapalı sistem tanımlıyorsa, bir sonraki adım onun durum uzayını düşünmektir. Genel görelilik bize bizatihi uzayın, parçacıklarla maddenin hareket edip etkileşime girdiği sahnenin zaman içinde evrildiğini söyler. Bu nedenle, durum uzayının tanımı uzay-zamanın mutlak olmasına göre daha incelikli olur. Fizikçilerin çoğunluğu evren evrilirken bilginin korunduğu konusunda hemfikirdir, ama kozmolojik bağlamda bunun nasıl işlediği belli değildir. Esas sorun, genişledikçe daha fazla şeyin evrene sığabilecek olması ve –en azından safça– durum uzayının da daha büyüyor gibi görünmesindedir. Bu tersinir, bilginin korunduğu ve durum uzayının sabit olduğu sıradan fizik kurallarıyla açıkça çelişkilidir.

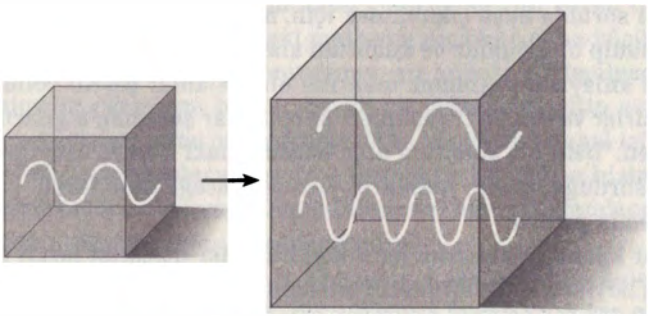
---

farklı hızlarda genişlediği için, bizim birlikte hareket eden parçamızın şu andaki boyutu fiilen Hubble uzunluğundan biraz farklı olabilir.

Bu sorunla başa çıkabilmek için, maddenin temel doğası üzerine sahip olduğumuz ve kuantum alan kuramından kaynaklanan en iyi anlayışla başlamak mantıklı olur. Alanlar çeşitli yollardan titreşirler ve biz bu titreşimleri parçacıklar şeklinde algılarız. Bu yüzden, "belli bir kuantum alan kuramındaki durum uzayı nedir," diye sorduğumuzda, alanların titreşebileceği tüm farklı yolları bilmemiz gerekir.

Bir kuantum alanının herhangi bir olası titreşimi farklı özgül dalga boylarıyla titreşimlerin bileşimi olarak düşünülebilir – belli bir sesin özgül frekanslarıyla çeşitli notaların bir bileşimi durumunda çözülebileceği gibi. Önce herhangi bir olası dalga boyuna yer olabileceğini düşünebilirsiniz, ama aslında bazı kısıtlamalar söz konusudur. Planck uzunluğu –kuantum kütleçekimin önemli hale geldiği 10^{-33} santimetrelik minik uzaklık– hangi dalga boylarına yer olduğu konusunda bir *alt sınır* oluşturur. Bundan küçük uzaklıklarda, bizatihi uzay-zaman geleneksel anlamını yitirir ve dalganın (dalga boyu kısaldıkça büyüyen) enerjisi o kadar büyür ki, bir kara deliğe çöker.

Benzer şekilde, hangi dalga boylarına yer olduğu konusunda, birlikte hareket eden parçamızın boyu tarafından belirlenen bir *üst sınır* vardır. Daha uzun dalga boyuna sahip titreşimler olmayacak değildir; yalnızca artık önemleri kalmaz. Bizim parçamızın boyundan daha büyük dalga boyları gözlemlenebilir evrende fiilen sabittir. Bu yüzden, "gözlemlenebilir evrenin durum uzayı"nın "tüm çeşitli kuantum alanlarında var olan, dalga boyları Planck uzunluğundan büyük ve birlikte hareket eden parçamızdan küçük titreşimlerden" oluştuğunu söylemek çekicidir. Sorun şu ki, bu evren genişledikçe değişen bir durum uzayıdır. Parçamız zamanla büyürken, Planck uzunluğu sabit kalır. Aşırı erken zamanlarda, evren çok gençti ve hızla genişliyordu, bizim parçamız da görece küçüktü. (Tam olarak ne kadar küçük olduğu erken evrenin evriminin bilmediğimiz ayrıntılarına bağlıdır.) O zamanlar evrene sığdırabileceğiniz o kadar titreşim yoktu. Bugün, Hubble uzunluğu muazzam büyüktür –Planck uzunluğundan yaklaşık 10^{66} kez daha büyük– ve yer verilebilecek muazzam sayıda titreşim vardır. Bu düşünce tarzıyla, erken evrenin entropisinin düşük olması o kadar da şaşırtıcı olmaz, çünkü evrende yer verilebilecek azami entropi küçük olur – olabilecek azami entropi evren genişleyip durum uzayı büyüdükçe artar.



Şekil 66: Evren genişledikçe, daha fazla dalga çeşidine yer açar. Daha fazla şey olabilir, böylece durum uzayı da büyüyormuş gibi durur.

Ama bir durum uzayı zaman içinde değişiyorsa, evrim açıkça bilgiyi korur ve tersinir olamaz. Bugün dün olduğundan daha fazla olası durum varsa ve iki farklı başlangıç durumu hep iki farklı nihai duruma evriliyorsa, bugün hiçbir yerden gelmeyen bazı durumlar olmalıdır. Bu da evrimin, genelde, tersinemeyeceği anlamına gelir. Çalışmaya alıştığımız geleneksel tersinir fizik yasalarının tümü kesinlikle sabitlenmiş, zamanla değişmeyen durum uzayları içerir. Bu uzay içindeki kurulum evrilecektir, ama durum uzayı hiçbir zaman değişmez.

Karşımızda bir açmaz var gibidir. Eğik uzay-zamandaki kuantum alan kuramının temel kuralları evren genişledikçe durum uzayının büyüdüğünü ima ediyor gibidir, ama tüm bunların dayandığı fikirler –kuantum mekaniği ve genel görelilik– gururla bilgi korunumu ilkesine uyar. Açıkça, bir şeylerin geri adım atması gerekiyor.

Durum kara deliklerdeki bilgi kaybı bilmecesine benziyor. Orada, biz (daha doğrusu Stephen Hawking) bilgiyi yok ediyormuş gibi duran ya da en azından karıştıran bir sonuç –kara deliklerin Hawking ışınımına buharlaşması– türetmek için eğik uzay-zamanda kuantum alan kuramını kullanmıştı. Şimdi, kozmolojide, genişleyen bir evrendeki kuantum alan kuramının kuralları temelden tersinmez bir evrim ima ediyor gibidir.

Bu bilmecenin günün birinde, bilgi korunumu yönünde çözüleceğini tasavvur edeceğim, yani Hawking'in (ama herkesin değil) şimdi kara delikler konusunda inandığı gibi. Erken evren ve geç evren, kesinlikle aynı olası durum uzayı içinde, tersinir temel

yasalara göre evrilen aynı fiziksel sistemin sadece iki farklı kurulumudur. Bir sistemin entropisini "büyük" ya da "küçük" olarak nitelendirirken yapılacak doğru şey olası en yüksek entropiyle karşılaştırmaktır – sistemin o anda sahip olabileceği bazı özelliklerle uyumlu en yüksek entropiyle değil. Bir kutu gaza bakıp da gazın hepsinin sıkıca bir köşede toplandığını görürsek, "Dikkatimizi bu köşeye sıkıca toplanmış kurulumlarla kısıtladığımız sürece, bu yüksek entropili bir kurulumdur" demeyiz. "Bu çok düşük bir entropidir ve muhtemelen de bir açıklaması vardır," deriz.

Tüm bu karışıklık, eksiksiz bir kuantum kütleçekim kuramına sahip olmadığımızdan ve anladığımızı düşündüğümüz kuramlara dayanarak akılcı tahminlerde bulunmak zorunda kalmamızdan kaynaklanıyor. Bu tahminler bizi çılgınca sonuçlara götürdüğünde, bir şeylerin geri çekilmesi gerekir. *Titreşen kuantum alanları tarafından betimlenen* durumların sayısının evren genişledikçe zaman içinde değiştiğine dair akılcı bir sav öne sürdük. Toplam durum uzayı sabit kalırsa, erken evrenin olası durumlarının birçoğunun indirgenemez biçimde kuantum kütleçekimsel karaktere sahip olması ve sadece pürüzsüz bir ardalandaki kuantum alanları terimleriyle betimlenemeyecek olmaları gibi bir durum söz konusu olmalıdır. Muhtemelen, daha iyi bir kuantum kütleçekim kuramı bu durumların ne olabileceğini anlamamıza yardımcı olabilir, ama bu anlayış olmasa dahi bilgi korunumunun temel ilkesi orada olmaları gerektiği güvencesi sağlar, bu yüzden bunu kabul etmek ve erken evrenin neden böyle bir görünürde düşük entropili kurulumu olduğunu açıklamaya çalışmak mantıklı görünür.

Herkes aynı görüşte değildir.[5] Kesinlikle kusursuz saygınlıkta bir düşünce akımı, şöyle der: "Doğru, bilgi temel bir düzeyde korunuyor olabilir ve tüm evren için sabit bir durum uzayı da olabilir. Ama kimin umurunda? Bu durum uzayının ne olduğunu bilmiyoruz ve küçük, görece pürüzsüz olarak başlayan bir evrende yaşıyoruz. En iyi stratejimiz kuantum alan kuramı tarafından önerilen kuralları kullanmak, en erken zamanlar için çok küçük

[5] Örneğin *bkz.* Kofman, Linde ve Mukhanov (2002). Bu makale Hollands ve Wald (2002) tarafından yazılan ve bu bölümde ele aldığımıza benzer soruları özgül şişme kozmolojisi bağlamında soran bir makaleye yanıt olarak yazılmıştır. Aynı görüşü benimseyen popüler düzeyde bir tartışma için, *bkz.* Chaisson (2001).

bir kurulumlar kümesine, daha sonraki zamanlar için de çok daha büyük bir kümeye yer vermektir." Bu doğru olabilir. Nihai sonucu bulana kadar, yapabileceğimizin en iyisi içgüdülerimizi izlemek ve verilerle karşılaştırabileceğimiz, sınanabilir öngörülerde bulunmaktır. Evrenin kökenine gelince, daha oraya gelmedik, bu yüzden açık bir zihin sahibi olmakta yarar var.

ÖBEKLİLİK

Kuantum kütleçekimi tamamen çözemediğimiz için, evrenin entropisi üzerine kesin ifadelerde bulunmak zordur. Ama elimizde, kimi güvenilir sonuçlara varmakta kullanabileceğimiz bazı temel araçlar var – entropinin Büyük Patlamadan bu yana yükselmekte olduğu fikri, bilgi korunumu ilkesi, klasik genel göreliliğin öngörüleri, kara delikler için Bekenstein-Hawking formülü.



Şekil 67: Düşük entropili erken evren bilmecesini vurgulamak için herkesten fazla çaba harcamış olan Roger Penrose.

Bariz bir soru şudur: kütleçekim önemli olduğunda, yüksek entropili bir durum neye benzer? Kütleçekim önemli olmadığında, yüksek entropili durumlar termal denge durumlarıdır – malzeme sabit bir sıcaklıkta tekbiçimli bir şekilde dağılmaya eğilimlidir. (Yağ ve sirke gibi belli sistemlerde ayrıntılar değişebilir.) Genel izlenim, yüksek entropili durumların *pürüzsüz*, düşük entropili durumlarınsa *öbekli* olduğu yolundadır. Bu açıkça ince bir olgu hakkında kestirme bir düşünce tarzıdır, ama birçok koşulda bu yararlı bir rehber oluşturur.[6] Erken evrenin, henüz incelemiş ol-

[6] Gerçekten de Eric Schneider ve Dorion Sagan (2005) "hayatın amacının" evrendeki eğimleri düzelterek entropi artışını hızlandırmak olduğunu öne sürmüşlerdir. Böyle bir öneriyi sağlam kılmak, çeşitli nedenlerle zordur; bunlardan biri, İkinci Yasanın entropinin artma eğilimli olduğunu söylemesine karşın, entropinin olabildiğince hızlı artmaya eğilimli olduğunu söyleyen bir doğa yasasının olmamasıdır.

duğumuz kütleçekimi görmezden gelelim felsefesiyle uyumlu bir şekilde, gerçekten de pürüzsüz olduğuna dikkat edin.

Yıllardır, Sir Roger Penrose kütleçekimin bu özelliğinin –evrende entropi yükseldikçe şeylerin daha öbekli hale gelmesi– can alıcı önemde olduğuna ve kozmoloji tartışmalarında önemli bir rol oynaması gerektiği konusunda insanları ikna etmek için dolaşıp duruyor. Penrose 1960'ların sonuyla 1970'lerin başlarında genel görelilikte kara delikleri ve tekillikleri anlamak için Hawking'le birlikte gerçekleştirdikleri çalışmalarla ünlenmişti, fizikçiliğinin yanında, aynı zamanda önemli bir matematikçidir. Kışkırtıcı bir kişiliği vardır ve kuantum mekaniğinden bilincin incelenmesine kadar birçok alanda, geleneksel akla açıkça karşı duran konumları incelemekten büyük keyif alır.

Penrose'un kurcalayıp kabul görmüş inanışlarda gedikler açmayı sevdiği konulardan biri de kuramsal kozmolojiydi. 1980'lerin sonlarında ben yüksek lisans öğrencisiyken, kuramsal parçacık fizikçileri ve kozmologlar çoğunlukla (önümüzdeki bölümde ele alınacak olan) şişme kozmolojisinin bir sürümünün gerçek olması gerektiğini verili kabul ediyorlardı; astronomlar daha tedbirli olmaya eğilimliydiler. Bugün, kozmik mikrodalga ardalandan elde edilen kanıtlar erken evrende bir yerden diğerine yer alan küçük değişikliklerin şişmenin öngördükleriyle uyum durumunda olduğunu gösterdiği için bu inanış daha yaygındır. Ama Penrose tutarlı bir biçimde kuşkucuydu, en başta da şişmenin erken evrenin düşük entropisini açıklamakta başarısız olması nedeniyle. Öğrenciyken makalelerinden birini okuduğumu, Penrose'un önemli bir şey söylediğini takdir ettiğimi ama esas noktayı kaçırdığını hissettiğimi anımsıyorum. Baştan beri büyük ölçüde haklı olduğunu takdir etmem, entropi üzerine iki onyıl süren düşünmelerin sonucu oldu.

Kuantum kütleçekimde mikro-durum uzayının tam bir resmine ve buna bağlı olarak da entropi üzerine sağlam bir anlayışa sahip değiliz. Ama bu engelle başa çıkmanın basit bir stratejisi var. Evrende fiilen olanları ele alırız. Ayrıntılar konusunda emin olmasak da çoğumuz gözlemlenebilir evrenin evriminin hep İkinci Yasayla uyumlu olduğuna ve entropinin Büyük Patlamadan bu yana yükseldiğine inanıyoruz. Entropi yükselme eğilimindeyse ve evrende hep gerçekleşen bir süreç varsa ama bunun zamanda ter-

si hiç gerçekleşmiyorsa, bu muhtemelen entropide bir yükselmeyi temsil ediyordur.

Bunun bir örneği geç evrenin "kütleçekimsel istikrarsızlığıdır." "Kütleçekim önemliyken," ve "kütleçekim önemli değilken" lafını oradan buraya savurup duruyoruz, ama kütleçekimin önemli olup olmadığına karar vermenin kıstası nedir ki? Genelde, bir parçacık topluluğu verildiğinde, karşılıklı kütleçekim kuvvetleri hep parçacıkları bir araya çekmeye çalışacaktır – parçacıklar arası kütleçekim kuvveti evrensel biçimde çekicidir. (Örneğin hangi türden elektrik yüküyle uğraştığınıza bağlı olarak çekici ya da itici olabilen elektrik ve manyetizmayla tezat oluşturacak biçimde.[7]) Ama genelde "basınç" başlığı altında toplanan ve her şeyin bir kara deliğe çökmesini engelleyen başka kuvvetler de vardır. Yerküre, Güneş ya da bir yumurta, kendi kütleçekimi altında çökmez, çünkü bunların her biri içindeki malzemenin basıncı tarafından desteklenir. Kural olarak, "kütleçekim önemlidir," demek, "bir parçacıklar topluluğunun kütleçekim çökmelerini engellemeye çalışan basıncı yener," demektir.

Çok erken evrende, sıcaklık yüksektir ve basınç muazzamdır.[8] Yakın parçacıklar arasındaki yerel kütleçekim onları bir araya getiremeyecek kadar zayıftır ve madde ile ışınımın başlangıçtaki pürüzsüzlüğü korunur. Ama evren genişleyip soğudukça, basınç düşer ve kütleçekim üste çıkmaya başlar. Bu, başlangıçtaki pürüzsüz madde dağılımının kademeli bir şekilde yıldızlar, galaksiler ve daha büyük galaksi grupları şeklinde yoğunlaşmaya başladığı "yapı biçimlenmesi" çağıdır. Başlangıçtaki dağılım kusursuz şekilsizlikte değildi; yer yer küçük yoğunluk sapmaları oluyordu. Daha yoğun bölgelerde, kütleçekim parçacıkları daha da bir araya çekti, daha az yoğun bölgelerse parçacıkları daha yoğun komşularına kaptırıp daha da boş hale geldiler. Kütleçekimin inatçı ça-

---

[7] Aynı zamanda, "parçacıklar" dışında enerji yoğunluğu kaynaklarının kütleçekim etkileriyle de çelişki halinde. Bu boşluk gerçek dünya için kara enerji nedeniyle anlamlıdır. Kara enerji bir parçacıklar topluluğu değildir; evreni kaplayan düzgün bir alandır ve kütleçekim etkisi de şeyleri birbirlerinden uzaklaştırmaktır. Kimse işlerin basit olacağını söylemedi.

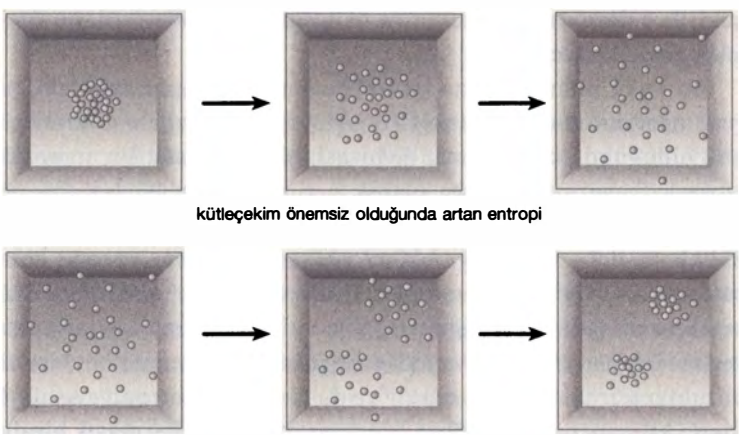
Diğer ayrıntılar da önemlidir. Erken evrende, olağan madde *iyonlaşmıştır* – elektronlar bir atom çekirdeğine bağlı kalmaktansa, serbestçe hareket ederler. İyonlaşmış bir plazmanın basıncı genellikle bir atomlar topluluğundan daha büyüktür.

baları sonucu, hayli tekbiçimli bir madde dağılımı giderek öbekli bir hale geldi.

Penrose şunu söylüyordu: evrende yapı biçimlendikçe, entropi artar. Şöyle ifade ediyor:

> Kütleçekim, entropiyle ilişkisi açısından, evrensel çapta çekici doğasıyla bir şekilde akıl karıştırıcıdır. Entropiyi olağan gaz terimleriyle düşünmeye alışmışızdır, gazın küçük bölgelerde yoğunlaşması *düşük* entropiyi temsil eder... *yüksek* entropili termal denge durumlarındaysa gaz tekbiçimli dağılmıştır. Ama kütleçekimle, işler öbür türlü olmaya eğilimlidir. Tekbiçimli dağılmış bir kütleçekimli cisimler sistemi (cisimleri hızları muazzam yüksek ve/veya cisimler çok küçük ve/veya çok fazla dağılmış ve dolayısıyla kütleçekim katkısı önemsiz olmuş değilse) görece düşük entropiyi temsil ederken, *yüksek* entropi kütleçekimli cisimler bir araya toplandıklarında gerçekleşir.[9]

Bunların hepsi tamamen doğrudur ve önemli bir sezgiyi temsil eder. Bugün geniş çaplı evrende egemen olanlar gibi belli koşullar altında, her ne kadar kütleçekimi de içeren bir sistemin entropisi için dört başı mamur bir formüle sahip olmasak da güvenle söyleyebiliriz ki yapı oluşup evren daha öbekli hale geldikçe, entropi yükselir.



Şekil 68: Kütleçekim önemsiz olduğunda, yükselen entropi şeyleri düzeltmeye eğilimlidir; kütleçekim önemli hale geldiğinde, entropi yükselirken madde bir araya gelmeye eğilimlidir.

[9] Penrose (2005), 706. Bu savın daha önceki bir sürümü için, Penrose (1979).

Aynı sonuca varmanın, düşünce deneyinin büyüsüyle başka bir yolu daha vardır. Evrenin halihazırdaki makro-durumunu ele alın – kimi galaksi toplulukları, kara madde falan, uzayda belli bir şekilde dağılmışlar. Ama şimdi tek bir değişiklik yapalım: evrenin genişleyeceğine, *daraldığını* tasavvur edelim. Ne olurdu?

Gerçekleşmeyecek olanın, evrenin pürüzsüz başlangıç durumundan bugünkü öbekli durumuna doğru olan fiili tarihinin basit bir zaman tersinmesi olduğu bariz olmalı – en azından, şimdiki makro-durumumuz içindeki mikro-durumların çoğunluğu için değil. (Şimdiki evrenimizin özgül mikro-durumunu hassasiyetle zaman tersinmesini gerçekleştirirsek, o zaman gerçekleşecek olan kuşkusuz tam olarak budur.) Şimdiki evrenimizdeki madde dağılımı bir araya toplanmaya başlarsa, tek tek yıldızlar ve galaksiler dağılıp düzelmeye başlamayacaklardır. Tersine, ağır nesneler arasındaki kütleçekim kuvveti onları bir araya getirecek ve evren daralsa bile öbekli yapı miktarı fiilen yükselecektir. Kara delikler oluşacak ve bir araya gelip daha büyük kara delikler yaratacaklardır. Sonunda bir tür Büyük Ezilme gerçekleşecek, ama (Penrose'un da vurguladığı gibi) evrenimizin çıktığı düzgün Büyük Patlamaya hiçbir şekilde benzemeyecektir. Yoğunluğun yüksek olduğu ve kara deliklerin oluştuğu yerler görece hızlı bir şekilde geleçekteki bir tekilliğe ezilecek, boş yerlerse daha uzun süre devam edecektir.

Bu öykü bizim birlikte hareket eden parçamızın içindeki durum uzayının sabit kalacağı fikriyle uyumludur, ama evren küçük olduğunda durumların çoğu aslında pürüzsüz bir uzaydaki titreşen kuantum alanları olarak betimlenemez. Böylesi bir görüntü çöken bir evrenden normalde bekleyeceğimiz kaotik, kara deliklerle dolu kargaşayı betimlemekte tamamen yetersiz kalacaktır. Ama böyle kargaşalı bir kurulum evrenin, geleneksel olarak kozmolojide ele aldığımız görece pürüzsüz ardalanlar kadar yer verilebilecek durumlarından biridir. Gerçekten de böylesi bir kurulum pürüzsüz bir evrene göre daha yüksek entropiye sahiptir (bunu biliyoruz, çünkü çöken bir evren normalde karmaşık bir duruma evrilecektir), bu da bu biçimde mikro-durumların sayısının her şeyin görece pürüzsüz olduğu biçimlere göre çok daha fazla olduğu anlamına gelir. Halihazırdaki evrenimizin neden böyle atipik olduğuysa, kuşkusuz, gizemimizin kalbinde yer alır.

ENTROPİNİN EVRİMİ

Artık Penrose'u izleyip evrenimizin entropisinin erken zamanlardan günümüze nasıl değiştirdiğini nicelemeyi denemek için yeteri kadar ardalan oluşturduk. Birlikte hareket eden parçamızın nasıl evrildiğinin temel öyküsünü biliyoruz – erken dönemlerde küçüktü ve tamamen pürüzsüz olmaya yakın sıcak, yoğun gazla doluydu ve sonraki zamanlarda büyük, soğuk ve daha seyrek oldu ve küçük ölçeklerde hayli öbekli olmasına karşın büyük mesafelerde temelde pürüzsüz olan bir yıldızlar ve galaksiler dağılımı içerir. Peki entropisi nedir?

Erken zamanlarda, işler pürüzsüzken, entropiyi kütleçekimin etkisini görmezden gelerek hesaplayabiliriz. Bu şimdiye kadar savunageldiğim felsefeye aykırı gibi görünebilir, ama ilkesel olarak kütleçekimin ilgisiz olduğunu söylemiyoruz – yalnızca, uygulamada erken evrenimizin, parçacıklar arasındaki kütleçekim kuvvetlerinin dinamiklerde belirleyici bir rol oynamadığı bir kurulumda olmasından yararlanıyoruz. Temelde, bu sadece gaz dolu bir kutuydu. Ve gaz dolu bir kutu da entropisini nasıl hesaplayacağımızı bildiğimiz bir şeydir.

Birlikte hareket eden uzay parçamızın genç ve pürüzsüzken entropisi şöyledir:

$$S_{\text{erken}} \approx 10^{88}$$

Burada "≈" işareti "yaklaşık olarak eşittir" anlamına gelir, çünkü bunun sağlam bir hesaplama değil, kaba bir tahmin olduğunu vurgulamak istiyoruz. Bu sayı sadece evrenin içeriğinin termal dengede geleneksel bir gaz gibi ele alınması ve on dokuzuncu yüzyılda termodinamikçilerin elde ettikleri formüllere koyulmasıyla elde edilmiştir, bir tek ilaveyle: Erken evrendeki parçacıkların çoğunluğu, ışık hızında ya da yakınında hareket eden fotonlar ya da nötrinolardır, bu yüzden görelilik önemlidir. Yanıtı pek değiştirmeyen bazı sayısal etmenlerle birlikte, göreli parçacıklardan oluşan sıcak bir gazın entropisi yalnızca böylesi parçacıkların toplam sayısına eşittir. Birlikte hareket eden evren parçamızda 10^{88} parçacık vardır, dolayısıyla bu erken zamanlardaki entropidir. (Yol boyunca biraz artar, ama çok değil, bu yüzden erken zamanlarda entropiyi yaklaşık sabit almak iyi bir yaklaştırımdır.)

Bugün kütleçekim önemli hale gelmiştir. Evrendeki maddeyi ihmal edilebilir kütleçekim olan termal dengedeki bir gaz olarak düşünmek doğru olmaz; olağan madde ve kara madde yoğunlaşıp galaksiler ve başka yapılar oluşturmuş ve entropi önemli ölçüde yükselmiştir. Ne yazık ki elimizde, bir galaksinin oluşumu sırasında entropideki değişmeyi izleyebilecek güvenilir bir formül yok.

Elimizde olan, kütleçekimin en önemli konumunda olduğu koşullar için bir formüldür: bir kara deliğin içinde. Bildiğimiz kadarıyla, evrenin toplam kütlesinin çok azı kara delikler biçimindedir.[10] Samanyolu gibi bir galakside, bir miktar (her biri belki de Güneşin 10 katı kütleye sahip) yıldız boyutunda kara delik bulunur, ama toplam kara delik kütlesinin çoğunluğu galaksinin merkezindeki tek bir süper kütleli kara delik biçimindedir. Süper kütleli kara delikler kesinlikle büyük –sıklıkla Güneşin kütlesinin bir milyon katının üzerinde– olmalarına karşın, bu toplam kütlesi Güneşin kütlesinin 100 milyar katı olabilecek olan galaksinin kütlesinin yanında önemsiz kalır.

Ama evrenin kütlesinin yalnızca çok küçük bir oranı kara deliklerde olsa da muazzam miktarda entropi içerirler. Güneşin bir milyon katı kütlesi bulunan tek bir süper kütleli kara deliğin entropisi Bekenstein-Hawking formülüne göre 10^{90} dolaylarındadır. Bu gözlemlenebilir evrendeki tüm madde ve ışınımdaki kütleçekim dışı entropinin tümünden yüz kez fazladır.[11]

Her ne kadar kütleçekimli maddenin durum uzayı üzerine sağlam bir anlayışımız yoksa da evrenin bugün toplam entropisinin büyük ölçüde bu süper kütleli kara delikler biçiminde olduğunu söyleyebiliriz. Evrende yaklaşık 100 milyar (10^{11}) galaksi olduğuna göre, toplam entropiyi 100 milyar böylesi kara delik olduğunu ka-

[10] Evrendeki maddenin çoğunluğu –kütle itibariyle yüzde 80'i ya da 90'ı– atom ve moleküllerden oluşan olağan madde değil, kara madde şeklindedir. Kara maddenin ne olduğunu bilmiyoruz ve küçük kara delikler biçimini aldığı düşünülebilir. Ama bu fikir, en başta o kadar çok kara delik oluşturmak üzere, sorunludur. Bu yüzden kozmologların çoğunluğu kara maddenin çok muhtemelen henüz keşfedilmemiş bir tür yeni temel parçacık (ya da parçacıklar) olduğuna inanmaya eğilimlidir.

Kara delik entropisi kara delik kütle kazandıkça hızla artar – kütlenin karesiyle orantılıdır. (Entropi alan gibi ilerler, o da yarıçapın karesine göre artar ve Schwarzschild yarıçapı da kütleyle orantılıdır.) Bu yüzden Güneşin kütlesinin 10 milyon katı kütleye sahip bir kara delikte 1 milyon Güneş kütlesine sahip olanın 100 katı entropi vardır.

bul ederek yaklaştırımda bulunmak mantıklı olur. (Bazı galaksilerde bunlardan bulunmayabilir, ama başka galaksilerde de daha büyük kara delikler bulunacaktır, bu yüzden bu kötü bir yaklaştırım değildir.) Bir milyon güneş kütlesine sahip kara deliklerin her biri için 10^{90} entropiyle, birlikte hareket eden parçamız için şöyle bir entropi elde ederiz:

$$S_{\text{bugün}} \approx 10^{101}$$

Matematikçi Edward Kasner 10^{100} için *googol* (gugol) terimini uydurmuştur, tasavvur edilemeyecek kadar büyük bir sayıyı anlatmak için kullandığı bir sayı. Evrenin entropisi bugün on googoldur. (Google şirketindekiler kendi arama motorlarına isim verirken bu sayıdan ilham almışlardı; bugün artık yanlış anlaşılmaya neden olmadan googol'dan söz etmek olanaksızdır.)

Birlikte hareket eden parçamızın halihazırdaki entropisini 10^{101} olarak yazdığımızda, bu erken evren zamanındaki değeri olan 10^{88}'den çok da büyükmüş gibi görünmez, ama bu sıkıştırılmış notasyonun bir mucizesidir. Aslında, 10^{101}, 10^{88}'den on trilyon (10^{13}) kez büyüktür. Evrenin entropisi, her şeyin pürüzsüz ve özelliksiz olduğu günlerden bu yana muazzam ölçüde artmıştır.

Yine de olabileceği kadar büyük değildir. Gözlemlenebilir evrenin sahip olabileceği en yüksek entropi değeri nedir? Yine, doğru yanıtın ne olduğunu kesinlikle söyleyecek kadar çok şey bilmiyoruz. Ama sadece evrendeki tüm maddenin tek bir dev kara delik durumunda toplanacağını tasavvur ederek en yüksek entropinin en azından belli bir sayı olacağını söyleyebiliriz. Bu birlikte hareket eden evren parçamıza uyan fiziksel sistem için yer verilen bir kurulumdur, bu yüzden kuşkusuz entropinin bu kadar yüksek olması mümkündür. Evrenin içerdiği toplam kütle üzerine bildiklerimize dayanarak ve bir kez daha Bekenstein-Hawking kara delik entropi formülünü uygulayarak, gözlemlenebilir evrenin en yüksek entropisinin en azından şöyle olduğunu buluruz:

$$S_{\text{maksimum}} \approx 10^{120}$$

Bu fevkalade büyük bir sayıdır. Yüz kentilyon gugol! Gözlemlenebilir evrenin sahip olabileceği en yüksek entropi en azından bu kadar büyüktür.

Bu sayılar modern kozmolojinin karşımıza çıkarttığı entropi bilmecesini anlamlandırır. Boltzmann haklıysa ve entropi bir sistemin olası tüm makroskobik olarak ayırt edilemez mikro-durumlarının sayısını nitelendiriyorsa, erken evrenin hayli özel bir durum olduğu açıktır. Entropinin eşdeğer durumların sayısının logaritması olduğunu anımsayın, yani entropisi S olan bir durum, 10^S ayırt edilemez durumdan biridir. Yani erken evren

$$10^{10^{88}}$$

farklı durumdan biridir. Ama

$$10^{10^{120}}$$

olası durumdan biri olabilir. Yine tipografinin mucizesiyle bu sayılar yüzeysel olarak benzer görünür, ama aslında ikinci sayı birinciden muazzam, düşünülemeyecek kadar daha büyüktür. Erken evrenin durumu tüm olası durumlar arasından sadece "rastgele seçilmişse," bu göründüğü gibi görünme olasılığı gülünç düzeyde düşüktür.

Sonuç kusursuz açıklıktadır: erken evrenin durumu tüm olası durumlar arasından rastgele seçilmemiştir. Dünyadaki, bu konuyu düşünmüş olan herkes aynı kanıdadır. Aynı kanıda olmadıkları, ***neden*** erken evrenin o kadar özel olduğudur – onu bu duruma sokan mekanizma nedir? Ve bu konuda zamansal şovenist olmamamız gerektiğine göre, neden aynı mekanizma *geç* evreni de benzer bir duruma getirmiyor? Burada çözmemiz gereken budur.

ENTROPİYİ EN YÜKSEK DÜZEYE ÇIKARTMAK

Erken evrenin çok alışılmadık bir durumda olduğunu belirledik ve bunun açıklanması gereken bir şey olduğunu düşünüyoruz. Bu bölüme başladığımız soruya ne dersiniz: Evren neye benziyor olmalıdır? Birlikte hareket eden parçamızı düzenleyebileceğimiz en yüksek entropili durum nedir?

Roger Penrose yanıtın kara delik olduğunu düşünüyor.

> En yüksek entropi durumu ne olacak? Bir gaz söz konusu olduğunda, termal dengenin en yüksek entropisi, gazın söz konusu bölgeye tekbiçimli dağılımıdır, büyük kütleçekimli cisimlerle, en

yüksek entropi tüm kütlenin tek bir yerde –*kara delik* adı verilen bir şey biçiminde– yoğunlaştığı zaman gerçekleşir.[12]

Bunun neden çekici bir yanıt olduğunu görebilirsiniz. Görmüş olduğumuz gibi, kütleçekim karşısında, şeyler tekdüze hale geleceğine, bir araya toplandığında entropi yükselir. Kara delik kuşkusuz şeylerin en olabildiğince yoğun bir araya geldikleri haldir. Geçen bölümde ele aldığımız gibi, bir kara delik, uzay-zamanın sabit büyüklükteki bir bölgesine doldurabileceğimiz en yüksek entropiyi temsil eder; bu holografik ilkenin ardındaki ilhamdır. Ve sonuçta elde edilen entropi de süper kütleli kara deliğin durumunda gördüğümüz gibi, kuşkusuz büyük bir sayıdır.

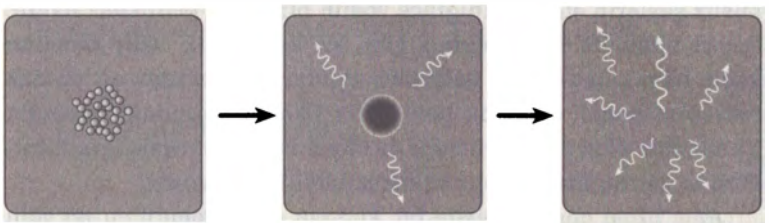
Ama nihai çözümlemede bu, konuyu düşünmenin en iyi yolu değildir.[13] Bir kara delik bir sistemin sahip olabileceği toplam entropiyi en yükseğe çıkartmaz – yalnızca sabit büyüklükte bir bölgeye doldurulabilecek entropiyi en yükseğe çıkartır. İkinci Yasanın "entropi yükselme eğilimindedir, kütleçekim dışarda bırakılırsa," demediği gibi, "hacim başına entropi yükselme eğilimindedir" de demez. Sadece "entropi yükselme eğilimindedir," der ve bu uzayda büyük bir bölge gerektiriyorsa, öyle olsun. Genel göreliliğin harikalarından biri –ve Newton mekaniğinin mutlak uzay-zamanıyla en can alıcı farklarından biri– büyüklüklerin hiçbir zaman sabit olmamasıdır. Entropi üzerine eksiksiz bir anlayış olmadan dahi, Penrose'un adımlarını izleyerek ve yalnızca sistemlerin yüksek entropili durumlara doğru doğal evrimlerini inceleyerek yanıt üzerine bir fikrimiz olabilir.

Basit bir örnek düşünün: başka her yeri boş olan, vakum enerjisi bile bulunmayan bir evrenin bir bölgesinde toplanmış bir madde topluluğu. Diğer bir deyişle, bazı madde parçacıklarının toplandığı belli bir yer dışında hemen hemen her yeri boş bir uzay-zaman. Uzayın çoğunluğunda hiç enerji olmadığından, evren genişlemeyecek ya da daralmayacaktır, dolayısıyla maddenin bulunduğu bölge dışında hiçbir şey gerçekleşmeyecektir. Parçacıklar kendi kütleçekim kuvvetleriyle bir araya toplanacaklardır.

---

[12] Penrose (2005), 707.
Buradaki akıl yürütme, benim Jennifer Chen ile birlikte yazdığım bir makaleyi (Carroll ve Chen, 2004) yakından izler.

Bunların bir kara delik olana dek çöktüklerini tasavvur edelim. Bu arada, entropinin yükseldiğinden kuşku yoktur. Ama kara delik de orada ebediyete kadar oturup durmayacaktır – Hawking ışınımı salacak, enerji yitirdikçe büzüşecek ve eninde sonunda tamamen buharlaşıp gidecektir.



Şekil 69: Bir kara delikte çok entropi vardır, ama daha da çok entropiye sahip ışınım biçiminde buharlaşacaktır.

Başka hiçbir şey bulunmayan boş bir evrendeki kara deliklerin doğal davranışı ışınıma uğrayıp seyrek bir parçacık gazına dönüşmektir. Böylesi davranış doğal olduğundan, bunun yükselen entropiyi temsil etmesini bekleriz ve yapar da. Kara deliğin entropisini buharlaştığı ışınımın entropisiyle açıkça karşılaştırabiliriz ve ışınımın entropisi daha yüksektir. Kesin olmak gerekirse, yüzde 33.[14]

Şimdi, entropinin *yoğunluğu* açıkça azalmıştır – bir kara deliğimiz varken, tüm o entropi küçük bir hacme dolmuştu, Hawking ışınımıysa kademeli bir biçimde salınır ve uzayın muazzam bir bölgesine yayılır. Ama gene, entropinin yoğunluğu bizi ilgilendirmiyor; bizi ilgilendiren toplam miktarı.

BOŞ UZAY

Bu düşünce deneyinin verdiği ders, "kütleçekimi hesaba kattığımızda, yüksek entropili durumlar pürüzsüz değil öbekli olur," kuralının mutlak bir yasa olmamasıdır; bu yalnızca bazı koşullarda geçerlidir. Kara delik başlangıçtaki parçacık topluluğundan daha öbeklidir (yüksek kontrast), ama sonunda dağılan ışınım hiç

[14] Örneğin *bkz.* Zurek (1982).

de öbekli değildir. Doğrusu, ışınım evrenin sonlarına doğru hızla uzaklaşırken ve her yerdeki yoğunluk sıfıra doğru giderken, daha da pürüzsüzleşen bir kuruluma doğru yaklaşırız.

Yani "kütleçekimi de hesaba kattığımızda, yüksek entropili bir durum neye benzer," sorusunun yanıtı, "öbekli, kaotik kara delikler girdabı," değil, hatta "tek bir dev kara delik," bile değildir. En yüksek entropili durumlar, en fazla orada burada yavaş yavaş seyrelip kaybolan birkaç parçacık bulunan *boş uzaya* benzer.

Bu mantığa aykırı bir iddiadır ve farklı açılardan incelenmesi gerekir.[15] Hepsi bir araya toplanıp bir kara delik oluşturan madde topluluğu vakası, rakamları yerleştirip kara delik buharlaştığında entropinin yükseldiğini doğrulayabileceğimiz, görece açık bir örnektir. Ama bu sonucun (boş uzayda hareket eden ve giderek seyrelen parçacık gazı) gerçekten olası en yüksek entropi kurulumu olduğunu kanıtlamaktan çok uzaktır. Başka olası yanıtları da düşünmemiz gerekir. Rehber oluşturacak ilkeler diğer kurulum türlerinin gerçekten de evrileceği ve kendisinin de ebediyen kalacağı bir kurulum istiyor olmamızdır.

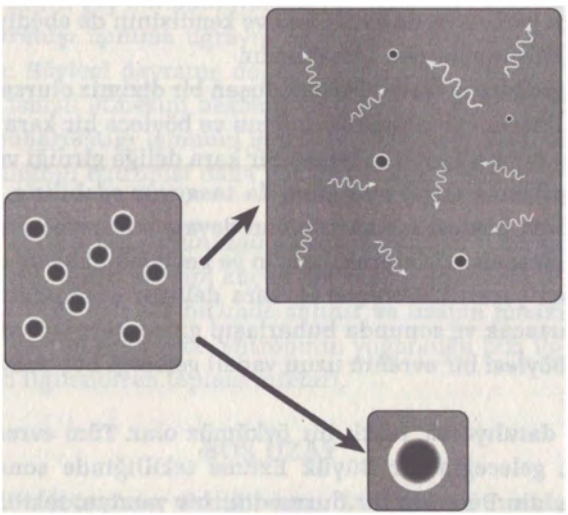
Örneğin birçok kara delikten oluşan bir dizimiz olursa ne olur? Kara deliklerin evreni doldurduğunu ve böylece bir kara delikten yayılan ışınımın sonunda başka bir kara deliğe girdiği ve onların buharlaşmasına engel olduğunu da tasavvur edebiliriz. Ama genel görelilik böylesi bir kurulumun devam edemeyeceğini söyler. Evrende nesneler fırlatarak, uzayın ya genişlediği ya da daraldığı bir durum yarattık. Genişlerse, kara delikler arasındaki uzaklık sürekli artacak ve sonunda buharlaşıp gidecekler. Önceden olduğu gibi, böylesi bir evrenin uzun vadeli geleceği boş uzaya benzeyecektir.

Uzay daralıyorsa, farklı bir öykümüz olur. Tüm evren büzüştüğünde, geleceğin bir Büyük Ezilme tekilliğinde sona ermesi muhtemeldir. Bu eşsiz bir durumdur; bir yandan, tekillik ebediyen sürmez (zaman orada durur, en azından bildiğimiz kadarıyla), ama başka bir şeye de evrilmez. Farazi bir evrenin gelecekteki

[15] Aynı zamanda fizikçiler arasında kabul görmüş olmaktan da çok uzaktır. "Kütleçekimi hesaba katıldığında en yüksek entropili durumlar neye benzer," sorusuna "Bilmiyoruz," dışında kabul görmüş herhangi bir yanıt da yoktur. Ama umuyorum ki şu anda elimizdeki en iyi yanıtın "boş uzay," olduğuna ikna olacaksınız.

evriminin bir Büyük Ezilmeyle sona ermesi olasılığını bir kenara atamayız, ama kuantum kütleçekimde tekillikler üzerine anlayış eksikliğimiz bu vaka konusunda yararlı bir şey söylememizi zorlaştırır. (Gerçek dünyamız da böyle evrilmiyor gibidir.)

Bir ipucu, tamamen daralan bir evren gibi gözüken ama maddenin, tüm uzaya yayılmak yerine, yalnızca uzayın sonlu bölgesini doldurduğu, çöken bir (kara delik ya da benzeri) madde topluluğunu düşünürsek ortaya çıkar. Evrenin geri kalanı boşsa, bu yerel bölge tamı tamına evvelce ele aldığımız, bir grup parçacığın kara delik oluşturmak üzere çöktüğü durum gibidir. Bu yüzden, içeriden Büyük Ezilmeye doğru çöken bir evren gibi gözüken şey, dışarıdan bakıldığında dev bir kara delik oluşumu gibi görünür. Bu durumda, uzak geleceğin ne getireceğini biliyoruz: zaman alabilir, ama bu kara delik hiçliğe ışıyacaktır. Nihai durum, bir kez daha, boş uzay olur.



Şekil 70: Kara delikler dizisi dengede kalamaz. Ya genişleyip kara deliklerin buharlaşmasını sağlayacaktır (sağ üst) ya da çökerek Büyük Ezilme ya da tek bir daha büyük kara delik oluştururlar (sağ alt).

Bu konuda biraz daha sistematik olabiliriz. Kozmologlar bütün uzay boyunca aynı şeyleri yapan evrenleri düşünme eğilimindedirler, çünkü bizim evrenimizin gözlemlenebilir parçası öyleymiş

gibidir. Ama bunu hemen doğru kabul etmeyelim; bütün evrende, kusursuz bir genellikle neler olabileceğine bakalım.

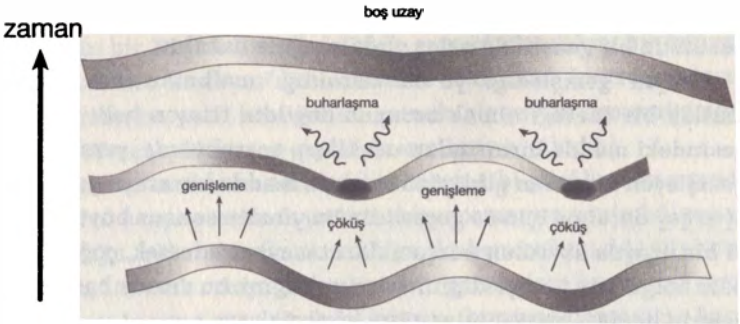
Uzayın "genişlediği" ya da "daraldığı" mefhumu tüm evrenin mutlak bir özelliği olmak zorunda değildir. Uzayın belli bir bölgesindeki madde birbirinden uzaklaşıp seyreliyorsa, yerel olarak genişleyen bir evren gibi gözükecektir, madde bir araya geliyorsa, aynı şey daralma için de geçerlidir. Bu yüzden sonsuz büyüklükteki bir uzayda savrulan parçacıkları tasavvur edersek, çoğunlukla bazı bölgelerin genişlediğini ve seyreldiğini, bu sırada başka bölgelerin de daralıp yoğunlaştığını görürüz.

Ama bu doğruysa, dikkat çekici bir şey oluyordur: "genişleyen" ve "daralan" arasında görünürdeki simetriye karşın, kısa sürede genişleyen bölgeler üste çıkmaya başlayacaktır. Nedeni basit: genişleyen bölgelerin hacmi artacak, daralan bölgeler de büzüşecektir. Dahası, daralan bölgeler ebediyen öyle kalmayacaktır. Maddenin bir kara delik oluşturana kadar çöktüğü aşırı vakalarda, sonunda kara delik ışıyıp dağılacaktır. Bu yüzden hem genişleyen hem de daralan bölgeler içeren başlangıç koşullarından, yeterince beklersek, boş uzaya varırız – entropi hep yükselir.[16]

Bu örneklerin her birinde, altta yatan can alıcı özellik, uzay-zamanın genel görelilikteki dinamik doğasıdır. (Boltzmann'ın öngöreceği türden) sabit, mutlak bir uzay-zamanda, tekbiçimli sıcaklık ve yoğunlukta bir gazla dolu bir evren tasavvur etmenin bir anlamı olur – her yerde termal denge hüküm sürer. Bu yüksek entropili bir durumdur ve bir evrenin nasıl görünmesi "gerektiği" konusunda doğal bir tahmindir. Boltzmann'ın gözlemlenebilir evrenimizin böylesi bir kurulum içinde istatistiksel dalgalanmalar olabileceğini önermiş olması şaşırtıcı değildir.

---

[16] Bu biraz da ileriye bakmak olacaktır, ama bu oyunu gerisin geriye de oynayabileceğimize dikkat edin. Yani: evrendeki herhangi bir madde kurulumundan, her sefer için bir uzay-zaman dilimi olmak üzere başlayın. Bazı yerlerde genişleme ve seyrelme, başka yerlerde de toplanma ve yoğunlaşmayla nihai buharlaşma görürüz. Ama bu "başlangıç" durumunu, aynı tersinir fizik yasalarını kullanarak, zamanda geriye doğru evriltirsek ne olacağını da sorabiliriz. Yanıt, şüphesiz ki, aynı türden davranışla karşılaşacağımızdır. Geleceğe doğru genişleyen bölgeler geçmişe doğru toplanacak, geleceğe doğru toplananlar da genişleyecektir. Ama sonunda genişleyen bölgeler üste çıkacağı için, uzay boşalacaktır. Uzak geçmiş, aynı uzak gelecek gibi gözükecektir: boş uzay.



Şekil 71: Hem genişleyen hem de daralan bölgeleri olan bir evrendeki başlangıç koşulları (alt sıra). Genişleyen bölgelerin boyutları büyür ve giderek seyrelirler. Daralan bölgeler başlangıçta daha yoğunlaşır, ama bir noktadan sonra çevrelerindeki boşluğa doğru ışırlar.

Ama genel görelilik her şeyi değiştirir. Durağan bir uzay-zamandaki tekbiçimli yoğunluklu bir gaz Einstein'ın denklemleri için bir çözüm değildir – evren ya genişlemeli ya da daralmalıdır. Einstein'ın gelişinin öncesinde, düşünce deneylerinize maddenin ortalama yoğunluğunu ya da ele alınan bölgenin toplam hacmini sabitleyerek başlamanın bir anlamı vardı. Ama genel görelilikte, bunlar öylesine sabit tutmanıza izin verilmeyen şeylerdir; zaman içinde değişmeye eğilimlidirler. Bunun üzerine düşünmenin bir yolu, genel göreliliğin her zaman size belli bir kurulumun entropisini artırmanın bir yolunu gösterdiğini idrak etmektir: Evreni daha büyütmek ve malzemenin genişleyip yeni hacmi doldurmasına yol açmak. Böylesi bir sürecin nihai sonucu, kuşkusuz, boş uzaydır. Kütleçekimi hesaba kattığımızda, bu bir "yüksek entropili" durum demek olur.

Kuşkusuz, bu savların hiçbiri kusursuz değildir. Kapsamlı düşündüğünüzde sağlam ve anlamlıymış gibi duran bir sonuç akla getiriyorlar ama bu herhangi bir şeyin kesin kanıtı olmaktan da uzak. Evrendeki herhangi bir sistemin entropisinin unsurlarını uzayın çok geniş bir alanına dağıtarak artabileceği iddiası hayli sağlam gözüküyor. Ama dolayısıyla boş uzayın en yüksek entropili durum olacağı sonucu daha belirsizdir. Kütleçekim aldatıcıdır ve onun hakkında anlamadığımız çok şey var, bu yüzden herhangi bir spekülatif senaryoyla fazla duygusal bir bağ kurmak iyi bir fikir olmaz.

GERÇEK DÜNYA

Gelin bu fikirleri gerçek dünyaya uygulayalım. Yüksek entropili durumlar boş uzay gibi görünenlerse, muhtemelen halihazırdaki gözlemlenebilir evrenimiz de böylesi bir duruma doğru evriliyor olmalıdır. Formal olmayan şekilde, şeylerin kütleçekimin kuvveti altında çöktüklerinde, sonunda buharlaşıp gitmeden önce kara delik olduklarını kabul ettik. Bunun, birçok nesnenin –gezegenler, yıldızlar hatta galaksiler– kütleçekim nedeniyle bir arada durduğunu ama kara delik olmaktan da çok uzak olduklarını gördüğümüz gerçek dünyada doğru olması, bariz olmaktan çok uzaktır.

Ama gerçek şudur ki tüm bunlar, yeterince beklersek, sonunda "buharlaşacaktır. Bunu en açık şekilde, karşılıklı kütleçekimleri altında yörüngede dönen bir yıldızlar topluluğu olarak düşünebileceğimiz galaksilerin durumunda görürüz. Tek tek yıldızlar başka yıldızların yanından geçtikçe, bir kutudaki gaz moleküllerine çok benzer bir şekilde karşılıklı etkileşime girerler, şu farklılıkla ki, (doğrudan birbirleriyle çarpışan yıldızların çok istisnai durumları dışında) etkileşimleri yalnızca kütleçekim aracılığıyla olur. Bu etkileşimler bir yıldız ile diğeri arasında enerji değişimine yol açabilir.[17] Böylesi birçok karşılaşma sonucunda, yıldızlar ara sıra o kadar fazla enerji kaparlar ki kaçış hızına erişirler ve galaksiden tamamen uzaklaşırlar. Galaksinin geri kalanı artık enerjisinin bir bölümünü kaybetmiştir ve bunun sonucunda da büzüşür ve böylece yıldızları daha sıkı bir şekilde toplanır. Eninde sonunda, kalan yıldızlar o kadar yakın yığılacaklardır ki, merkezdeki kara deliğe düşeceklerdir. Bu noktada, önceki öykümüze geri döneriz.

Benzer mantık, ayrıntılar farklı olsa bile evrendeki herhangi başka bir nesne için de kullanılabilir. Temel nokta, bir kaya, yıldız, gezegen ya da her neyse verildiğinde, o belli fiziksel sistemin, onu oluşturan bileşenlerin en yüksek entropi düzenlemesinde olmak *isteyeceğidir*. Bu biraz şiirsel, çünkü cansız nesnelerin aslında arzuları olmaz, ama yine de sistemin serbest evriminin doğal ola-

[17] Burada kendi yakın bölgemizde, NASA Güneş Sisteminin uzaklarına bir uzay aracı göndermek için sık sık benzer bir etkiyi kullanır – "kütleçekimsel sapan." Bir uzay aracı kütleli bir gezegenin yanından tam gerektiği gibi geçerse, gezegenin hareket enerjisinin bir kısmını kapabilir. Gezegen o kadar ağırdır ki, bunu fark etmez bile ama uzay aracı çok daha yüksek bir hızda uzağa fırlatılır.

rak onu daha yüksek entropili bir kuruluma taşıyacağı gerçeğini yansıtır.

Evrimin aslında güdümlü olduğunu düşünebilirsiniz: örneğin bir gezegen, tüm kütlesi bir kara deliğe çökerse daha yüksek bir entropiye sahip olabilir, ama içindeki basınç onun istikrarını korur. Burada kuantum mekaniğinin mucizesi devreye girer. Bir gezegenin bir klasik parçacıklar topluluğu olmadığını anımsayın; başka her şey gibi, bir dalga fonksiyonunca betimlenir. Bu dalga fonksiyonu gezegenin bileşenlerini olası kurulumlarından herhangi birinde görebilmemizin olasılığını nitelendirir. Bu olası kurulumlardan biri, kaçınılmaz olarak, bir kara delik olacaktır. Diğer bir deyişle, bir gezegeni (ya da herhangi bir şeyi) gözlemleyen herhangi birinin bakış açısından, onu birdenbire bir kara deliğe çöktüğünü görmeleri için çok küçük bir olasılık vardır. Bu, "kuantum tünellemesi" olarak bilinen süreçtir.

Endişelenmeyin. Evet, evrendeki her şeyin –Yerküre, Güneş, siz, kediniz– her an için bir kara delik biçimine kuantum tünellenme olasılığı vardır. Ama bu olasılık çok düşüktür. Evrenin yaşının çok, pek çok katı zaman geçmesi lazım ki, böyle bir şeyin gerçekleşmesi için makul bir olasılık ortaya çıksın. Ama ebediyete kadar süren bir evrende, bunun eninde sonunda gerçekleşme olasılığı hayli yüksek demektir – doğrusu, bu kaçınılmazdır. Evrendeki hiçbir parçacık topluluğu ebediyete kadar kendi halinde durmaya devam edemez. Buradan çıkacak ders şudur ki, madde, varsa, daha yüksek entropili bir kuruluma dönüşmenin bir yolunu bulacaktır; bu bir kara deliğe kuantum tünellemesi yoluyla olabilir ya da çok daha sıradan kanallardan. Evrende hangi türden bir madde olursa olsun, boş uzaya doğru dağılan ince parçacıklar bulamacına buharlaşarak entropisini yükseltebilir.

VAKUM ENERJİSİ

Üçüncü Bölümde ele aldığımız gibi, evrende madde ve ışınımdan fazlası vardır – aynı zamanda evrenin hızlanmasını sağlayan kara enerji de bulunur. Kara enerjinin ne olduğundan emin değiliz, ama öne çıkan aday, kozmolojik sabit olarak da bilinen "vakum enerjisidir." Vakum enerjisi uzaydaki her santimetre küpe içkin, tüm uzay ve zamanda sabit kalan, sabit miktarda enerjidir.

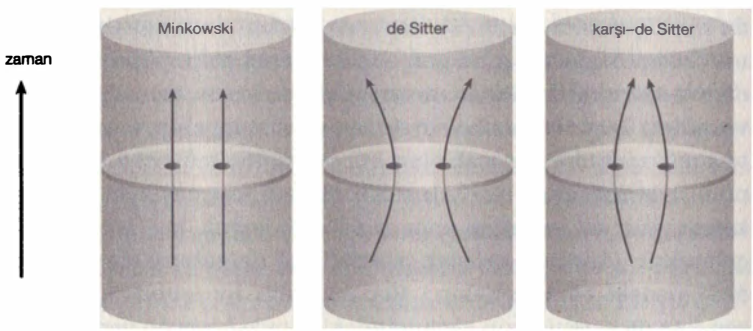
Kara enerjinin varlığı, kütleçekimin varlığında yüksek enerjili durumlar üzerine fikirlerimizi hem basitleştirir hem de karmaşıklaştırır. Maddenin doğal davranışının boş uzaya dağılmak olduğunu, dolayısıyla azami-entropi durumu için en iyi aday olduğunu öne sürüyorum. Bizimki gibi, küçük ama sıfırın üzerinde vakum enerjisi olan bir evrende, bu sonuç daha da güçlü bir olasılıktır. Sıfırın üzerinde bir vakum enerjisi evrenin genişlemesine sürekli dürtü uygular, bu da madde ile ışınımın genel seyrelme eğilimine katkıda bulunur. Önümüzdeki yıllarda insanlar bir ölümsüzlük makinesi ya da ilacı geliştirirlerse, ebediyen yaşayacak olan kozmologlar giderek boşalan bir evreni gözlemlemekle yetinecekler. Yıldızlar sönecek, kara delikler buharlaşacak ve her şey vakum enerjisinin hızlanan etkisiyle uzaklara itilecek.

Özellikle, kara enerji (nihayetinde dağılacak olan bir şey değil de) gerçekten bir kozmolojik sabitse, evrenin bir tür Büyük Ezilmeye yeniden çökmeyeceğinden emin olabiliriz. Ne de olsa, evren yalnızca genişlemekle kalmayıp hızlanmaktadır ve bu hızlanma da ebediyen sürecektir. Bu senaryo –ki bu, unutmayalım, bugünün kozmologlarına göre gerçek dünya için en popüler teşhistir– düşük entropili başlangıcımızın garip doğasını canlı bir şekilde vurgular. Geçmişte sonlu bir zaman var olmuş olan, ama gelecekte sonsuza kadar sürecek olan bir evren düşünüyoruz. Varoluşunun ilk birkaç on milyar yılı sıcak, meşgul, karmaşık ve ilginç bir karmaşadır ve ardından sonsuz süreyle soğuk, boş bir sessizlik gelecektir. (Ara sıra gelecek istatistiksel dalgalanmalar dışında; önümüzdeki bölüme bakın.) Her ne kadar bu içimden gelen bir ses olsa da evrenimizin geçmişindeki görece heyecan verici birkaç yılın ardından sonsuz süreyle karanlık bir yalnızlık olasılığıyla karşı karşıya olmak yazık gibi geliyor.

Artı kozmolojik sabitin varlığı, bir dizi düşünce deneyinin çevresinde dolanmaktansa, bir hayli güçlü bir sonucu fiilen kanıtlamamızı sağlıyor. Kozmik saçın olmaması kuramı, aşina "akılcı kabuller" kümesi altında, sıfırın üzerinde bir vakum enerjisine, buna ilaveten bir madde alanına sahip olan bir evren vakum enerjinin üste çıkmasına yetecek kadar uzun sürmesi durumunda vakum enerjisinden başka hiçbir şeyin bulunmadığı boş bir evrene evrilecektir. Diğer bir deyişle, kozmolojik sabit hep kazanır.[18]

[18] Wald (1983).

Bunun sonucu olan evren –artı vakum enerjisi olan boş uzay– Einstein sonrasında genel görelilik çerçevesi içinde kozmolojiyi ilk inceleyenlerden biri olan Hollandalı fizikçi Willem de Sitter'e atıfla *de Sitter uzayı* olarak bilinir. Üçüncü Bölümde belirttiğimiz gibi, sıfır vakum enerjili boş uzay Minkowski uzayı olarak bilinir, eksi vakum enerjili boş uzay da karşı-de Sitter uzayıdır. De Sitter uzayında uzay-zaman boş olmasına karşın, artı vakum enerjisi yüzünden yine de eğiktir. Vakum enerjisi, bildiğimiz gibi uzayın genişlemesine sürekli bir dürtü uygular. De Sitter uzayında başlangıçta durağan iki parçacık düşünürsek, genişleme yüzünden kademeli olarak birbirlerinden uzaklaştırılacaklardır. Benzer şekilde, hareketlerini geçmişe doğru izlersek, birbirlerine yaklaşacaklardır, ama aralarındaki uzay açıldıkça, bu giderek daha yavaş olacaktır. Karşı-de Sitter uzayı bunun tersidir; parçacıklar birbirlerine doğru itilir.



Şekil 72: Farklı vakum enerjilerine sahip üç farklı "boş uzay" sürümü: vakum enerjisi kaybolduğunda Minkowski uzayı, artı olduğunda de Sitter, eksi olduğunda da karşı-de Sitter uzayları. Minkowski uzayında başlangıçta durağan iki parçacık, birbirlerine göreli olarak hareketsiz kalacaktır; de Sitter uzayında uzaklaştırılırlar, karşı-de Sitter uzayındaysa yaklaşırlar. Vakum enerjisinin genliği büyüdükçe, itme ya da çekme güçlenir.

Tartıştığımız her şey, vakum enerjisinin artı olduğunda de Sitter uzayının, dolayısıyla kütleçekimin varlığında düşünebileceğimiz en yüksek entropili durumun kozmolojik evrimin nihai bitiş noktası olduğu fikrine işaret eder. Bu kesin bir ifade değildir –bilimin halihazırdaki durumu bu doğrultuda kesin ifadeler beyan etmeye yetecek kadar ilerlemiş değildir– ama bu bir fikir verir.

Boş uzayın nasıl olup da yüksek entropiye sahip olabileceğini sorabilirsiniz – entropinin mikro-durumların kaç şekilde yeniden düzenlenebileceğinin sayısı olması gerekir ve elimizde boş uzay varsa, yeniden düzenlenilebilecek bir şey de yok değil midir? Ama bu tam da kara delikler konusunda karşımıza çıkan bilmecenin aynısıdır. Yanıt, boş da olsa, bizatihi uzayın kuantum durumlarını betimleyen mikro-durumların sayısının çok olması olmalıdır. Gerçekten de holografik ilkeye inanıyorsak, de Sitter uzayının gözlemlenebilir herhangi bir parçasının içerdiği entropiye kesin bir değer atayabiliriz. Yanıt muazzam bir sayıdır ve vakum enerjisi *küçük* olduğunda, entropi daha *büyüktür*.[19] Evrenimiz de Sitter uzayına doğru evrilmektedir ve her gözlemlenebilir parçanın entropisi yaklaşık 10^{120} olacaktır. (Bunun gözlemlenebilir evrendeki tüm maddeyi bir kara deliğe çökerttiğimizde elde edeceğimiz entropiyle aynı olması olgusu bir rastlantıdır – bu, geçmişte maddenin egemen olmasına ve gelecekte de vakum enerjisinin egemen olacak olmasına karşın, şu anda madde yoğunluğuyla vakum enerjisinin yaklaşık eşit olmalarıyla aynı rastlantıdır.)

Her ne kadar de Sitter uzayı yüksek entropili bir durum için mantıklı bir aday olsa da vakum enerjisi fikri kuantum kütleçekim bağlamında entropiyi anlama girişimlerimizi karmaşıklaştırır. Temel sorun fiili vakum enerjisinin –uzay-zamandaki herhangi bir olaydaki vakumun enerjisi olarak o anda ölçeceğiniz şeyin– en azından geçici olarak, kesinlikle değişebileceğidir. Kozmologlar, vakum enerjisinin olası en düşük değerine sahip olacağı "gerçek vakumdan," ama aynı zamanda da fiili vakum enerjisinin daha yüksek olduğu "sahte vakumlardan" söz ederler. Doğrusu, şu anda sahte bir vakumda bulunuyor olabiliriz. "Yüksek entropinin" "boş uzay" anlamına geliyor olması fikri, boş uzayın farklı vakum enerjisi değerlerine karşılık gelen farklı biçimler alabilecekken çok daha karmaşık duruma gelir.

Bu *iyi* bir şeydir – boş uzayın olası en yüksek entropili durum olmasını istemeyiz, çünkü orada yaşamıyoruz. Önümüzdeki birkaç

[19] Özellikle, kara deliklerde olduğu gibi, her gözlemlenebilir de Sitter uzayı parçasının etrafında bir "ufuk" tanımlayabiliriz. O zaman, bu parça için entropi formülü bir kara deliğin entropi formülünün tam olarak aynısı olur – bu ufkun Planck birimleriyle ölçülmüş alanının dörde bölünmüş hali.

bölümde evrene bir şekilde anlam verebilmek için vakum enerjisinin olası farklı değerlerinden yararlanıp yararlanamayacağımıza bakacağız. Ama önce bu doğrultuda bir strateji olmaksızın, bizim dışımızda boş bir evrende yaşamıyor olmamızın gerçekten de aşırı düzeyde şaşırtıcı olacağından emin olmamız gerekir. Bu da omuzlarında yükseldiğimiz devlerden bazılarına, yani Boltzmann ve Lucretius'a bir ziyarette daha bulunmamızı gerektiriyor.

NEDEN BOŞ BİR UZAYDA YAŞAMIYORUZ?

Bu bölüme evrenin neye benzemesi gerektiğini sorarak başlamıştık. Bunun akılcı bir soru olup olmadığı bile açık değildir, ama öyleyse, mantıklı bir yanıt, "yüksek entropili bir durumdaymış gibi görünmesi gerekir" olmalıdır, çünkü düşük entropili durumlara oranla çok daha fazla yüksek entropili durum vardır. O zaman gerçekten yüksek entropili durumların temelde boş uzaya benzeyeceğini öne sürmüştük; artı kozmolojik sabite sahip bir dünyada, bu da de Sitter uzayı demektir, vakum enerjisi olan ve başka hiçbir şey bulunmayan bir evren.

O zaman modern kozmolojinin karşısındaki soru şu olur: "Neden bir de Sitter uzayında yaşamıyoruz?" Neden yıldızlarla ve galaksilerle dolu canlı bir evrende yaşıyoruz? Neden Büyük Patlamamızın, olağanüstü düşük entropili muazzam bir madde ve enerji patlamasının sonrasında yaşıyoruz? Neden evrende bu kadar çok *malzeme* var ve neden erken dönemlerde bu kadar düzgün yığılmış?

Bir olası yanıt, antropik ilkeye başvurmak olabilir. Boş uzayda yaşıyor olamayız, çünkü boştur işte. Orada yaşayacak hiçbir şey yoktur. Bu, her ne kadar soruyu tam anlamıyla yanıtlamıyorsa bile kusursuz mantıklı bir sava benziyor. Tam olarak boş de Sitter uzayında yaşayamayacak olsak da bu erken evrenimizin neden hiç de boş olmadığını açıklamaz. Şu andaki evrenimiz boşluktan, herhangi bir antropik kıstasın gerektirdiğinden çok daha muazzam dramatik bir sapma gösteriyor gibidir.

Bu düşüncelerin Onuncu Bölümdeki Boltzmann-Lucretius tartışmamızı anımsattığını görebilirsiniz. Orada, sonsuz sayıda atomun bulunduğu durağan bir evren tasavvur etmiştik, öyle ki, tüm uzayda ortalama bir atom yoğunluğu vardı. Bu atomların dü-

zenlemesindeki istatistiksel dalgalanmalar, diye varsayılmıştı, geçici sürelerle evrenimize benzeyen düşük entropili kurulumlara yol açabilirdi. Ama bir sorun vardı: bu senaryo güçlü bir öngörüde bulunuyordu, yani bizim (olası tüm *biz* tanımlamaları altında) termal dengeden varoluşumuzla tutarlı bir şekilde olası en küçük dalgalanma olmalıydık. En aşırı sürümde, tekbiçimli sıcaklık ve yoğunluğa sahip bir gazla çevrelenmiş bedensiz Boltzmann beyinleri olmalıydık. Ama değiliz ve ilerleyen deneyler evrenin geri kalanının hiç de dengeye yakın bir durumda olmadığını gösteren kanıtlar ortaya çıkartıyor, bu yüzden bu senaryo deneysel olarak devre dışı kalmıştır.

Boltzmann'ın aklındaki açık senaryo kuşkusuz, genel görelilik tarafından dramatik ölçülerde etkilenmiş olurdu. En önemli yeni bileşen, gaz moleküleriyle dolu durağan bir evrenin olanaksız oluşudur. Einstein'a göre, maddeyle dolu uzay orada öylece durmayacaktır; ya genişleyecek ya da daralacaktır. Ve madde tüm evrene düzenli bir şekilde dağıtıldıysa ve (eksi enerji ya da basıncı olmayan) normal parçacıklardan oluşuyorsa, zamanda işlerin yoğunlaştığı yönde kaçınılmaz olarak bir tekillik olacaktır – evren genişliyorsa geçmişte bir Büyük Patlama ya da evren daralıyorsa gelecekte bir Büyük Ezilme. (Ya da evren bir süreliğine genişleyip sonra yeniden daralmaya başlıyorsa, her ikisi de.) Bu yüzden, moleküllerin ebediyen mutlu-mesut durağan bir dengede süregittikleri bu tasasız Newtoncı manzara, genel görelilik işin içine girdiğinden artık anlamlı değildir.

Bunun yerine, en yüksek entropili durum olarak termal parçacıklardan oluşan bir gazın yerini alan de Sitter uzayında yaşamı düşünmeliyiz. Hepinizin tek bildiği klasik fizik olsaydı, de Sitter uzayı gerçekten boş olurdu. (Vakum enerjisi bizatihi uzay-zamanın bir özelliğidir; bununla ilişkili parçacık yoktur.) Ama klasik fizik tüm öyküyü temsil etmez; gerçek dünya kuantum mekanikseldir. Ve kuantum alan kuramı, uygun bir eğik uzay-zaman ardalanında parçacıkların "yoktan" yaratılabileceğini söyler. Hawking ışınımı en bariz örnektir.

Hawking tarafından kara delikleri incelemek için kullanılan mantığın çok benzeri yürütülerek, boş olduğu varsayılan de Sitter uzayının aslında var oluveren parçacıklarla dolu olduğu ortaya çıkar. Çok fazla değil, bunu vurgulamak gerekir – aşırı ince bir et-

kiden söz ediyoruz. (Boş uzayda birçok sanal parçacık vardır, ama çok az gerçek, tespit edilebilir parçacık.) Tasavvur edelim ki de Sitter uzayında, sizin oralardan geçen her parçacığı belirleyebilecek çok ince duyarlılıkta deneysel aletlerle oturuyorsunuz. Keşfedecek olduğunuz, termal dengedeki bir kutuda bulunuyormuş gibi, sabit sıcaklıkta bir parçacık gazıyla çevrelenmiş olduğunuzdur. Ve evren genişledikçe sıcaklık azalmayacaktır – bu, de Sitter uzayının ebediyen sürecek bir özelliğidir.[20]

Doğrusu, pek fazla bir parçacık saptayamayacaksınız; sıcaklık hayli düşüktür. Birisi size şimdi "evrenin sıcaklığının" ne olduğunu sorarsa, kozmik mikrodalga ardalan ışınımının sıcaklığı olan 2,7 Kelvin diyebilirsiniz. Bu hayli soğuktur; 0 Kelvin olası en düşük sıcaklıktır, oda sıcaklığı yaklaşık 300 Kelvin'dir ve yeryüzünde bir laboratuvarda elde edilen en düşük sıcaklık 10^{-10} Kelvin'dir. Evrenin tüm madde ve kozmik ardalan ışınımı seyrelip gidene ve yalnızca kuantum etkileriyle de Sitter uzayından üreyen parçacıklar kalana kadar genişlemesini beklersek, sıcaklık 10^{-29} Kelvin dolaylarında olacaktır. Nereden bakarsanız bakın, soğuk.

Yine de sıcaklık sıcaklıktır ve sıfırın üzerindeki her sıcaklık dalgalanmalara yer açar. De Sitter uzayında kuantum etkilerini hesaba kattığımızda, evren sabit sıcaklıktaki bir kutu gaz gibi davranır ve bu durum ebediyen sürer. Geçmişimizde dramatik bir Büyük Patlama olsa bile gelecek hiç sıfıra kadar düşmeyen aşırı soğuk bir ebediyettir. Dolayısıyla Boltzmann beyinleri ve ebedi bir kutu gaz konusunda kaygılanabileceğimiz diğer herhangi bir türden termodinamik olarak olası olmayan termal dalgalanmalarla dolu sonsuz bir gelecek umabiliriz.

Ve bu da *Boltzmann-Lucretius senaryosunun tüm kaygı verici veçhelerinin gerçek dünyanın kaygı verici veçheleri olduğu* anlamına geliyor gibidir. Yeterince beklersek, evrenimiz çok küçük sıcaklığa sahip de Sitter uzayı gibi görünene kadar boşalacak ve ebediyen böyle kalacaktır. Her türden –galaksilerin, gezegenlerin ve Boltzmann beyinlerinin kendiliğinden üremesi de aralarında olmak üzere– olası olmayan olaya neden olan rastgele termal dalgalanmalar olacaktır. Herhangi bir anda böylesi bir şeyin olma olasılığı çok

[20] H de Sitter uzayındaki Hubble parametresiyse, sıcaklık da $T = (\hbar/2\pi k)H$ olur, burada $\hbar$ Planck sabiti, k da Boltzmann sabitidir. Bu ilk kez Gary Gibbons ve Stephen Hawking tarafından geliştirilmiştir.

düşük olsa da bekleyecek bir ebediyet var, bu yüzden olabilecek her şey olacaktır. Bu evrende –bildiğimiz kadarıyla *bizim* evrenimiz– matematiksel fizikçilerin (ya da herhangi bir türden bilinçli gözlemci) ezici çoğunluğu çevredeki kargaşadan beliriverecek ve kendilerini uzayda yalnız başına sürüklenir bulacaktır.[21]

Evrenin hızlanması 1998'de bulundu. Kuramcılar, Boltzmann beyinleri berraklaşana kadar bu şaşırtıcı sonuç üzerine bir süre kafa yordular. Tartışma ilk kez 2002'de, Lisa Dyson, Matthew Kleban ve Leonard Susskind'in "Disturbing Implications of a Cosmological Constant" (Kozmolojik Sabitin Tedirginlik Uyandıran Sonuçları) gibi meşum bir başlığa sahip makaleleriyle açıldı ve 2004'te Andreas Albrecht ve Lorenzo Sorbo'nun bunun üzerine makaleleriyle ilerletildi.[22] Bilmece çözülmüş olmaktan çok uzaktadır. En basit çıkış yolu, kara enerjinin ebediyen süren bir kozmolojik sabit olmayıp, Poincaré'nin yinelenme zamanına erişmemizin çok öncesinde dağılacak kısa ömürlü bir enerji kaynağı olduğunu tasavvur etmektir. Ama bunun nasıl işleyeceği açık değildir ve inandırıcı azalan kara enerji modellerinin inşasının zor olduğu ortaya çıkmıştır.

Bu yüzden, Boltzmann-beyin problemi –"Neden kendimizi çevredeki kargaşadan yakın zamanda dalgalanmış, yalıtılmış yaratıklar olarak değil de kademeli olarak inanılmaz düşük entropiden evrilen bir evrende buluyoruz?"– henüz açık bir yanıta sahip

---

[21] Tam anlamıyla anlayamadığımız fizik rejimlerine belirsiz yaklaştırımlara dayanan bu öngörünün biraz fazla cesurca olduğunu düşünebilirsiniz. Ebedi bir de Sitter uzayına doğrudan deneysel erişimimiz olmadığı tartışılmaz bir gerçektir, ama taslağını çizdiğimiz senaryo yalnızca birkaç hayli sağlam ilkeye dayanır: de Sitter uzayında termal ışınımın varlığı ve farklı türden rastgele dalgalanmanın göreli sıklığı. Özellikle, bir Büyük Patlamaya neden olacak özel türden bir dalgalanmanın olup olmadığını düşünmek çekicidir ve bu türden bir dalgalanma bir Boltzmann beyni üretecek dalgalanmadan daha olasıdır. Şu anda olan da, nihai olarak doğru fizik yasalarına göre, bu olabilir –doğrusu, kitabın daha ilerilerinde buna çok benzeyen bir şey önereceğiz– ama buradaki kabuller altında olan kesinlikle bu değildir. Ebedi de Sitter uzayındaki termal dalgalanmaların güzel yanı, termal dalgalanmaları çok iyi anlıyor olmamız ve güven içinde farklı dalgalanmaların hangi sıklıkla gerçekleşeceğini hesaplayabilecek olmamızdır. Özellikle, entropide büyük değişmeler içeren dalgalanmalar, küçük entropi değişmelerine neden olacak olanlara göre muazzam oranda daha az olasıdır. Bu senaryodan ciddi ölçüde sapmamamız durumunda, bir beyne dalgalanmak bir evrene dalgalanmaktan çok daha kolaydır. Dyson, Kleban ve Susskind (2002); Albrecht ve Sorbo (2004).

değildir. Ve bu bilmecenin zaman oku problemini muazzam ölçüde daha acil kıldığını vurgulamakta da yarar var. Bu konuya hak ettiği değer verilmezden önce, bir tür ince ayar problemimiz var: Neden erken evren o kadar düşük bir entropiye sahipti? Ama en azından omuz silkip, "Eh, belki de oldu ve derin bir açıklaması da yoktu," demeye hakkımız vardı. Ama şimdi bu artık yeterli değil. De Sitter uzayında, güvenilir bir şekilde evrenin tarihinde (sonsuz gelecek de içinde olmak üzere) gözlemcilerin kaç kez soğuk ve tehlikeli boşlukla çevrelenmiş olarak belireceklerini öngörebilir, bunları da kendilerini yıldızlar ve galaksilerle çevrili rahat ortamlarda bulacak gözlemcilerle karşılaştırabiliriz ve soğuk ve tehlikeli boşluk ezici oranda daha olasıdır. Bu rahatsız edici bir ince ayarın ötesinde bir şeydir; bu kuram ile gözlem arasındaki doğrudan bir uyuşmazlıktır ve daha iyisini yapmamız gerektiğinin işaretidir.

14
ŞİŞME VE ÇOKLU EVREN

Metafiziğin en sınırsız ve spekülatif disiplin olduğunu düşünenler yanılıyor; kozmolojiyle karşılaştırıldığında, metafizik hayal gücünden yoksun ve yavan görünür.

–Stephen Toulmin[1]

1979 Aralığındaki serin bir Palo Alto sabahı, Alan Guth, SLAC, Stanford Linear Accelerator Center'daki (Stanford Doğrusal Hızlandırıcı Merkezi) kuramsal fizik bölümündeki ofisine doğru bisikletiyle olabildiğince hızlı pedal çeviriyordu. Masasına ulaştığında, not defterinde yeni bir sayfa açtı ve şunları yazdı:

OLAĞANÜSTÜ KAVRAYIŞ: Bu tür süpersoğuma evrenin bugün neden o kadar inanılmaz düz olduğunu açıklar – ve dolayısıyla Bob Dicke'nin Einstein Günü konferansında dikkat çektiği ince ayar paradoksunu çözer.

Titizlikle sözcüklerin etrafına dikdörtgen bir kutu çizdi. Sonra bir tane daha.[2]



Şekil 73: Şişme senaryosu gözlemlenebilir evrenimizin neden pürüzsüz ve düz olmaya yakın olduğunu açıklamamıza yardımcı olabilecek olan Alan Guth.

[1] Toulmin (1988), 393.
Bkz. Guth (1997), aynı zamanda, Overbye (1991).

Bir bilim insanı olarak, çevresinde bir çerçeveyi hak edecek kadar muhteşem bir sonuç –kuramsal bir ilham ya da deneysel bir keşif– yakalayacağınız gün için yaşarsınız. Nadir ikili çerçeve değerinde sonuçlar insanın yaşamının yanında, bilimin gidişini de değiştirme eğilimindedir; Guth'un da kaydetmiş olduğu gibi, not defterlerinin hiçbir yerinde başka bir çift çerçeveli sonuç yoktur. SLAC'deki günlerine ait olanı şimdi artık Chicago'daki Adler planetaryumunda, yukarıdaki sözcüklerin bulunduğu sayfa açık olarak sergilenmektedir. Guth şimdi artık *şişme* (inflation) olarak bilinen senaryoyu bulmuştu: erken evrenin, uzayın inanılmaz bir şekilde hızlanmasına (yukarıda sözü edilen süper-soğuma) neden olan ultra-yüksek yoğunluklu geçici bir kara enerji biçimiyle kaplı olduğu fikri. Bu basit öneri erken evrenimizin gözlemlediğimiz koşulları hakkında açıklanması gereken, uzayın geometrisinden kozmik mikrodalga ardalanındaki yoğunluk tedirgemelerinin biçimine kadar aşağı-yukarı her şeyi açıklayabilir. Her ne kadar şişmenin gerçekleştiğine ilişkin kesin kanıtımız henüz yoksa da bu muhtemelen son birkaç on yılda kozmoloji üzerine üretilen en etkili fikirdir.

Bu şüphesiz ki şişmenin doğru olduğu anlamına gelmez. Erken evren geçici olarak ultra-yüksek ölçekte kara enerjinin etkisinde olmuşsa, o zaman evrenin neden erken zamanlarda anlaşıldığı kadarıyla içinde bulunduğu duruma evrildiğini anlayabiliriz. Ama önemli soruyu atlama tehlikesi de vardır – neden o şekilde kara enerjinin egemenliğindeydi? Şişme kendiliğinden, entropinin neden erken evrende düşük olduğu bilmecesine, daha da düşük başladığı kabulü dışında (ki bu da bir yerde hile yapmak oluyor) bir yanıt sağlamıyor.

Yine de şişme erken evrenimizin gözlemlenen özellikleriyle gayet uyumluymuş gibi görünen olağanüstü inandırıcı bir fikirdir. Ve Guth'un bu senaryoyu ilk önerdiğinde şahsen hiç öngörmediği kimi şaşırtıcı sonuçlara götürür – bunlara görecek olduğumuz gibi, "çoklu evren" fikrini gerçekçi kılmayı sağlayacak bir yol da dahildir. Çoğu etkin kozmoloğun görüşü, şişmenin bir sürümünün doğru olmasının olası olduğu yönündedir – soru, şişmenin neden gerçekleştiğidir.

UZAYIN EĞİKLİĞİ

Bir kalem alıp sivri ucunda düşey olarak dengelediğinizi tasavvur edin. Barizdir ki, doğal eğilimi devrilmek olacaktır. Ama aşırı istikrarlı yüzeyiniz varsa ve dengeleme konusunda bir uzmansanız, kalemin çok uzun bir süre düşey durmasını sağlayabileceğinizi tasavvur edin. Örneğin 14 milyar yıl kadar.

Evren de biraz böyledir, kalem *uzayın eğikliğini* temsil eder. Bu olması gerekenden daha kafa karıştırıcı bir kavram olabilir, çünkü kozmologlar bazen "uzay-zamanın eğikliğinden," bazen de "uzayın eğikliğinden" söz ederler ve bunlar iki farklı şeydir; bağlamdan hangisinin olduğunu çıkartabilmeniz gerekir. Uzay-zamanın eğikliğinin olabileceği gibi, uzayın kendisi de eğik olabilir – ve uzayın eğik olup olmaması, uzay-zamanın eğik olmasından tamamen bağımsızdır.[3]

Uzayın kendi başına eğikliğini tartışırken ortaya çıkan olası bir sorun, genel göreliliğin bize uzay-zamanı uzayın zamanda birçok şekilde evrilen üç boyutlu kopyalara dilimleme özgürlüğü tanımasıdır; "uzayın" tanımı eşsiz değildir. Neyse ki, gözlemlenen evrenimizde dilimlemeyi yapmanın doğal bir yolu vardır: "zamanı" maddenin yoğunluğunun büyük ölçekte uzayda yaklaşık sabit olduğu, ama evren genişledikçe azaldığı şekilde tanımlarız. Diğer bir deyişle, maddenin dağılımı evren için doğal bir yaslanma çerçevesi tanımlar. Bu göreliliğin ilkelerini hiçbir şekilde çiğnemez, çünkü maddenin belli bir kurulumunun özelliğidir, altta yatan fizik yasalarının değil.

Genelde, uzay bir yerden diğerine rastgele şekilde eğrilebilir ve diferansiyel geometri disiplini eğikliğin matematiğini çözmek için geliştirilmiştir. Ama kozmolojide, biz uzayın uzun mesafeler-

[3] Uzay-zaman düz olsa da uzay yine eğik olabilir. Eksi eğikliği olan ve zamanla orantılı bir büyüklükte genişleyen bir uzay, tamamen düz bir uzay-zamana karşılık gelir. Benzer şekilde, uzay-zaman eğik olsa bile uzay düz olabilir; uzaysal olarak düz bir evren zaman içinde genişliyor (ya da toplanıyorsa), uzay-zaman kesinlikle eğik olacaktır. (Önemli olan, genişlemenin uzay zamanın toplam eğikliğine katkıda bulunuyor olmasıdır ve uzayın eğikliği de katkıda bulunur. Bu nedenle genişleyen eksi eğikliğe sahip uzay sıfır eğikliğe sahip bir uzay zamana karşılık gelebilir; uzaysal eğikliğin katkısı eksidir ve genişlemenin artı katkısını tam olarak karşılıyor olabilir.) Kozmologlar "düz evren" derken, uzaysal olarak düz bir evrenden söz ediyorlardır, artı ve eksi eğiklikler için de aynı şey söz konusudur.

de tekbiçim olduğu ve her yönde aynı göründüğü için şanslıyız. Bu durumda, üç boyutlu uzayın geometrisi hakkında bilinecek her şeyi bana anlatmak için tek yapmanız gereken bir tek sayı belirtmektir – "uzayın eğikliği."

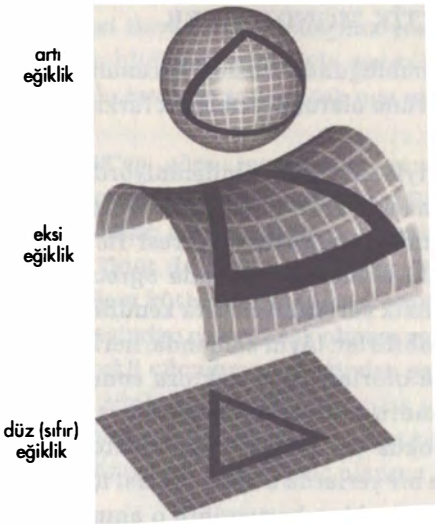
Uzayın eğikliği pozitif bir sayı, negatif bir sayı ya da sıfır olabilir. Eğiklik sıfırsa, doğal olarak uzayın "düz" olduğunu söyleriz ve normalde anladığımız haliyle geometrinin tüm karakteristiklerine sahip olur. Bu karakteristikler ilk kez Öklit tarafından ortaya konmuştur ve "başlangıçta paralel doğrular ebediyen paralel kalır" ve "üçgenin iç açıları kesinlikle 180 derecedir" gibi özellikler içerir. Eğiklik artıysa, uzay bir kürenin yüzeyi gibidir, ama üç boyutludur. Başlangıçta paralel doğrular eninde sonunda kesişirler ve bir üçgenin iç açılarının toplamı 180 dereceden *büyüktür*. Eğiklik eksiyse, uzay bir eyerin ya da patates çipsinin yüzeyi gibidir. Başlangıçta paralel doğrular uzaklaşır ve üçgenin iç açıları da – eh, herhalde tahmin edebilirsiniz.[4]

Genel göreliliğin kurallarına göre, evren düz başladıysa, düz kalır. Eğik başladıysa, evren genişledikçe eğiklik kademeli olarak azalır. Ama bildiğimiz kadarıyla, madde yoğunluğu ve ışınım da seyrelir. (Şimdilik, kara enerjiden söz edildiğini duyduğunuzu unutun, o her şeyi değiştirir.) Denklemleri kurduğunuzda, madde veya ışınım yoğunluğu, eğikliğin miktarından daha *hızlı* azalır. Madde ve ışınıma göreli olarak, uzay genişledikçe eğiklik evrenin evrimi için daha önemli duruma gelir.

Dolayısıyla: erken evrende herhangi fark edilebilir bir miktarda eğiklik varsa, bugün evren çok bariz bir şekilde eğik olmalıydı. Düz bir evren ucunda dengelenmiş bir kalem gibidir; sağa ya da sola herhangi bir sapma olursa, kalem hızla bir yanına devrilme eğilimindedir. Benzer şekilde, erken zamanlarda kusursuz düzlükten herhangi bir ufacık sapma zaman ilerledikçe giderek daha fark edilebilir duruma gelmiş olmalıydı. Ama gözlemsel bir olgu olarak, evren gayet düz görünür. Söyleyebileceğimiz kadarıyla, bugün evrende ölçülebilir bir eğiklik yoktur.[5]

---

[4] Toplamları 180 dereceden küçük olur.
Evrenin eğikliğini ölçmenin bir yolu, dolaylı olarak, Einstein'ın denklemini kullanarak olabilir. Genel görelilik eğiklik, genişleme oranı ve evrendeki enerji arasında bir ilişkiye işaret eder. Uzun süre astronomlar genişleme oranıyla evrendeki (enerjinin en önemli bölümü olduğunu kabul ettikleri) madde



Şekil 74: Uzayın tekbiçimli bir eğikliğe sahip olmasının yolları. Yukarıdan aşağıya: bir kürede olduğu gibi artı eğiklik; bir eyerde olduğu gibi eksi eğiklik; düz bir yüzeyde olduğu gibi sıfır eğiklik.

İşlerin bu durumu *düzlük sorunu* olarak bilinir. Evren bugün o kadar düz olduğuna göre, geçmişte de inanılmaz düz olmalıdır. Ama neden?

Düzlük sorunu, geçen bölümde ele aldığımız entropi sorunuyla ailevi bir benzerliğe sahiptir. Her iki durumda da kuram ile gözlem arasında bariz bir uyuşmazlık var denemez – tüm yapmamız gereken, erken evrenin belli bir biçime sahip olduğunu kabul etmektir, o zaman her şey güzelce yerli yerine oturur. Sorun, bu "belli biçimin" açık bir nedene dayanmaksızın inanılmaz düzeyde doğa dışı ve ince ayarlı gözükmesidir. Erken evrenin hem entropi hem de uzaysal eğikliğinin küçük olduklarını söyleyebiliriz ve bunun ötesinde başka bir açıklama yoktur. Ama evrenin bu görünürde doğadışı özellikleri önemli bir şeyin ipucu olabilir bu yüzden onları ciddiye almamızı gerektirir.

---

miktarını ölçtüler ve evrenin düz olmaya hayli yakın olduğunu buldular, ama çok küçük miktarda eksi eğikliğe sahip olmalıydı. Kara enerjinin keşfi bunu tamamen değiştirdi; evrenin düz olmasını gerektirecek enerjiyi kesinlikle sağlıyordu. Sonrasında, astronomlar bir tür dev üçgen olarak sıcaklık dalgalanmalarının eğilimini kullanarak eğikliği doğrudan ölçebilecek duruma geldiler (Miller vd, 1999; de Bernardis vd, 2000; Spergel vd, 2003). Bu yöntem güçlü bir şekilde evrenin düz olduğunu gösterir, bu da dolaylı akıl yürütmenin güzel bir doğrulamasıdır.

MANYETİK MONOPOLLER

Alan Guth şişme fikrini bulduğunda düzlük sorununu çözmeye çalışmıyordu. Monopol sorunu olarak bilinen çok farklı bir bilmeceyle ilgileniyordu.

Guth zaten kozmolojiyle özellikle ilgilenmiyordu. 1979'da doktora sonrası araştırmacı olarak dokuzuncu yılındaydı: bir bilim insanının kariyerindeki, lisansüstü evresi ile bir daimi kadroda olmak arasındaki bölümü, o safhada öğretmenlik görevleri ya da başka akademik sorumluluklarla kendilerini üzmeden araştırmaya odaklanabilirler. (Aynı zamanda, herhangi bir iş güvencesinden de yoksun olurlar; çoğu doktora sonrasında bir üniversitede daimi bir kadro almayı hiç başaramaz ve sonunda alanı terk ederler.) Dokuz yıl, yetenekli bir doktora sonrası araştırmacının normalde bir yerlerde doçent olması için gereken zamanın ötesindedir, ama Guth'un kariyerinin o anındaki yayın geçmişi başkalarının onda gördüğü beceriyi pek de yansıtmıyordu. Bir süre sonradan gözden düşen bir kuark kuramı üzerine çalışmıştı ve şimdi de yeni popüler olmuş "Büyük Birleşme Kuramlarının" kayıp bir öngörüsünü anlamaya çalışıyordu: manyetik monopoller öngörüsü.

Büyük Birleşme Kuramları ya da kısaca BBK (GUT, Grand Unified Theories) doğanın kütleçekim dışındaki kuvvetlerinin birleşik bir açıklamasını sağlama girişimidir. 1970'lerde hem özlerindeki basitlikten dolayı hem de düşündürücü bir öngörüde bulundukları için çok popüler olmuşlardı: çevremizdeki bütün maddenin (elektron ve nötronla birlikte) temelini oluşturan sağlam temel parçacık protonun, eninde sonunda daha hafif parçacıklara bozunacağı. Proton bozunumunu araştırmak için dev laboratuvarlar kuruldu, ama henüz bir şey bulunamadı. Bu BBK'ların doğru olmadığı anlamına gelmez; hâlâ hayli popülerler, ama proton bozunumunun belirlenememesi fizikçileri bu kuramların nasıl sınanabileceği konusunda bir açmazda bırakmıştır.

BBK'lar aynı zamanda yeni bir parçacık türünün, manyetik monopollerin varlığını öngörmüştü. Olağan yüklü parçacıklar elektriksel monopollerdir – yani ya artı yükleri ya da eksi yükleri vardır ve hepsi de budur. Hiç kimse şimdiye kadar doğada yalıtılmış bir "manyetik yük" belirleyememiştir. Bildiğimiz mıkna-

tısların hepsi dipoldür:* bir kuzey, bir de güney kutupları vardır. Bir mıknatısı ikiye kesin, kestiğiniz yerde iki yeni kutup belirir. Deneycilerin bildikleri kadarıyla, yalıtılmış bir manyetik kutup – bir monopol– aramak, sadece tek ucu olan bir sicim aramak gibi bir şeydir.

Ama BBK'ya göre, monopoller var olabilmelidir. Doğrusu, 1970'lerin sonlarında, insanlar oturup Büyük Patlama sonrasında yaratılmış olması gereken monopol sayısını hesaplayabileceğinizi fark ettiler. Yanıt da şuydu: çok fazla. Bu hesaplara göre, monopollerin toplam kütlesinin olağan proton, nötron ve elektronların toplam kütlesinden çok yüksek olması gerekiyordu. Manyetik monopoller sürekli vücudunuzun içinden geçiyor olmalıydılar.

Bu işten şüphesiz ki kolay bir çıkış vardır: BBK'lar doğru olmayabilir. Ve bu da halen doğru yanıt olabilir. Ama Guth, sorun üzerine düşünürken, daha ilginç olanına denk geldi: şişme.

ŞİŞME

Kara enerji –uzay ve zamanda yaklaşık olarak (ya da tam olarak) sabit kalan, evren genişledikçe seyrelmeyen bir enerji yoğunluğu kaynağı– genişlemeye sürekli bir dürtü sağlayarak evrenin hızlanmasına yol açar. Evrendeki enerjinin çoğunluğunun, toplamın yüzde 70 ila 75'inin, halen kara enerji biçiminde olduğuna inanıyoruz. Ama geçmişte, madde ve ışınım daha yoğunken, kara enerji herhalde bugünküyle aynı yoğunluğa sahipti ve dolayısıyla görece önemsizdi.

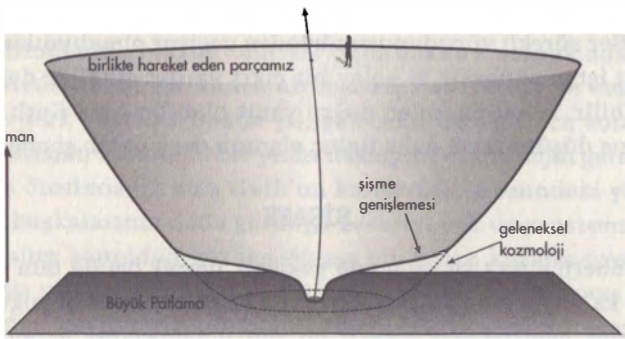
Şimdi, çok erken evrende bir zamanlar, olağanüstü büyük enerji yoğunluğuna sahip kara enerji bulunduğunu tasavvur edin: buna "süper-kara enerji" diyelim.[6] Evrene egemen olmuş ve uzayın da müthiş bir şekilde hızlanmasına yol açmıştı. Sonra –ilerde açıklanacak nedenlerle– bu süper-kara enerji aniden bozunup madde ve ışınıma dönüşerek, genellikle üzerinde düşündüğümüz erken evreni oluşturan sıcak plazma haline gelmişti. Bozunma ne-

* Dipol iki kutuplu, monopol tek kutuplu anlamına gelir –çn.

Başka hiç kimse bunu böyle adlandırmaz. Bu kara enerji şişmeye neden olma işlevini gördüğünden, "enflaton" adı verilen farazi alandan ortaya çıktığı öngörülmüştü. Enflaton alanının başka bir işe daha yaraması iyi olurdu ya da parçacık fiziğinin daha eksiksiz bir kuramına güzelce otursaydı, ama şimdilik bir şey söyleyecek kadar bilgimiz yok.

redeyse eksiksizdi, ama tam değil ve arkada, yakın zamanda evrenin dinamiklerinde önemli hale gelen çok az miktarda kara enerji bırakmıştı.

Bu şişme kuramıdır. Temelde, şişme uzayın minik bir bölgesini alıp onu muazzam bir boyuta şişirir. Peki ne olmuş, yani diye düşünebilirsiniz; madde ve ışınıma bozunduysa, geçici bir süper-kara enerji evresi kimin umurunda? Şişmenin o kadar popüler olmasının nedeni, günah çıkartmaya benzemesidir: önceki günahları siler.



Şekil 75: Şişme, uzayın küçük bir parçasını alır ve onu hızla muazzam bir büyüklüğe genişletir. Bu şekil hiç orantılı değildir; şişme bir saniyenin küçük bir bölümünde gerçekleşir ve uzayı 10^{26} oranında genişletir.

Monopol sorununu ele alalım. Monopoller (BBK'lar doğruysa) aşırı erken evrende bol miktarda üretilmiştir. Tasavvur edin ki, şişme hayli erken ama monopollerin üretilmesinden sonra gerçekleşti. Bu durumda, şişmenin yeterince uzun sürmesi koşuluyla, uzay o kadar muazzam bir oranda genişler ki, bütün monopoller neredeyse hiçliğe varacak kadar seyrelirler. Süper-kara enerjinin madde ve ışınıma bozunması daha fazla monopol üretmediği sürece (çok enerjili değilse, üretmez), işte, monopol sorunu kalmadı.

Uzayın eğikliği de benzer bir durumdadır. Oradaki sorun, eğikliğin madde ve ışınımdan daha yavaş bir şekilde seyrelmesidir, öyle ki, erken dönemde biraz bile eğiklik vardıysa, şimdi hayli gözlemlenebilir olması gerekir. Ama kara enerji eğiklikten de daha yavaş seyrelir – doğrusu, neredeyse hiç seyrelmez. Yani şişme yeterince uzun sürerse, madde ve ışınım süper-kara enerjinin bo-

zunumu sırasında yeniden yaratılmadan önce, eğiklik neredeyse sıfıra kadar seyrelir. Düzlük sorunu da kalmadı.

Guth'un şişme fikrinden neden bu kadar heyecanlandığını görüyorsunuz. Monopol sorunu üzerine düşünüyordu, ama diğer taraftan – çözmeye çalışmak için değil, BBK'lara karşı bir sav olarak kullanmak için. Cornell fizikçisi Henry Tye ile birlikte konu üzerine ilk çalışmalarında kara enerjinin olası rolünü görmezden gelmişler ve monopol sorununun çözümünün çok zor olduğunu bulmuşlardı. Ama Guth kara enerjinin erken dönemdeki olası etkilerini incelemeye başladığında, monopol sorununa bir çözüm kucağına düşüverdi – bu orada bile tek çerçeveyi hak ediyordu.

Çift çerçeveyi hak edişi, bu konuyu o ana kadar hiç düşünmemiş olan Guth'un, fikrinin aynı zamanda düzlük sorununu da çözdüğünü anladığında geldi. Tamamen rastlantı eseri, Guth bir süre önce kozmik mikrodalga ışınımını ilk inceleyenlerden biri olan, Princetonlı fizikçi Robert Dicke'nin bir konferansına katılmıştı. Dicke'nin Cornell'deki "Einstein günü" adı verilen etkinlik sırasında düzenlenen konferansı, geleneksel kozmoloji modelindeki açık uçlu noktalara dikkat çekiyordu. Bunlardan biri de düzlük sorunuydu ve bu da o sıralarda özellikle kozmolojiye yönelmiş olmamasına karşın, Guth'un dikkatini çekti.

Bu yüzden, şişmenin yalnızca monopol sorununu değil, düzlük sorununu da çözdüğünü idrak ettiğinde, Guth önemli bir yere geldiğini gördü. Gerçekten de gelmişti. Neredeyse bir gecede, debelenen bir doktora sonrası araştırmacıyken, üniversite öğretim üyeliği pazarında değerli bir meta haline geldi. Lisansüstü eğitimini aldığı MIT'yi tercih etti ve halen de orada ders veriyor.

UFUK SORUNU

Şişmenin sonuçları üzerine çalışırken, Guth senaryonun başka bir kozmolojik ince ayar bilmecesine de bir çözüm sağladığını fark etti: *ufuk sorunu*. Gerçekten de ufuk sorunu belki de standart Büyük Patlama kozmolojisindeki en inatçı ve kafa karıştırıcı konudur.

Sorun, erken evrenin aşağı-yukarı uzak aralıklı noktalarla aynı görüntüye sahip olması gibi basit bir durumdan kaynaklanır. Geçen bölümde, erken evrenin "tipik" bir durumunun, çok yoğun ve hızla büyümekte olduğunda ısrarcı olsak bile çok fazla dalgalanır

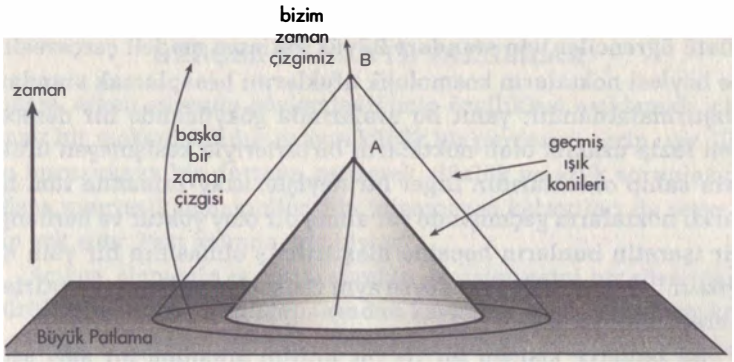
ve ayrışık olmaya eğilimli olacağını belirtmiştik – çöken bir evrenin zamanda tersinmiş durumuna benzemeliydi. Bu yüzden evrenin o kadar pürüzsüz olması bir açıklama gerektirir gibi gözüken bir özelliğiydi. Doğrusu, ufuk sorununun gerçekte takdim ettiğimiz biçimiyle entropi sorununun, bu genellikle farklı bir yoldan doğrulansa da, bir yansıması gibi olduğunu söylemek doğru olur.

Ufukları kara delikler bağlamında düşünürüz – ufuk, ötesinde, bir kez eriştiğimizde dış dünyaya geri dönemeyeceğimiz yerdir. Ya da daha kesin konuşursak, kurtulmak için ışıktan hızlı hareket etmemiz gerekir. Ama standart Büyük Patlama modelinde, Büyük Patlamanın sonlu bir süre önce gerçekleşmiş olması olgusundan kaynaklanan tamamen farklı bir "ufuk" mefhumu vardır. Bu bir kara deliğin çevresindeki "olay ufkunun" aksine, "kozmolojik ufuktur." Uzay-zamanda şimdiki yerimizden geçmişe doğru bir ışık konisi çizersek, evrenin başlangıcıyla kesişecektir. Ve şimdi de Büyük Patlamadan ışık konimizin dışında ayrılan bir parçacığın zaman çizgisini ele alırsak, bu zaman çizgisinden hiçbir işaret (ışıktan hızlı gitmeden) bizim halihazırdaki olayımıza erişemez. Dolayısıyla böylesi bir parçacığın, Şekil 76'da gösterildiği gibi, kozmolojik ufkumuzun dışında olduğunu söyleriz.

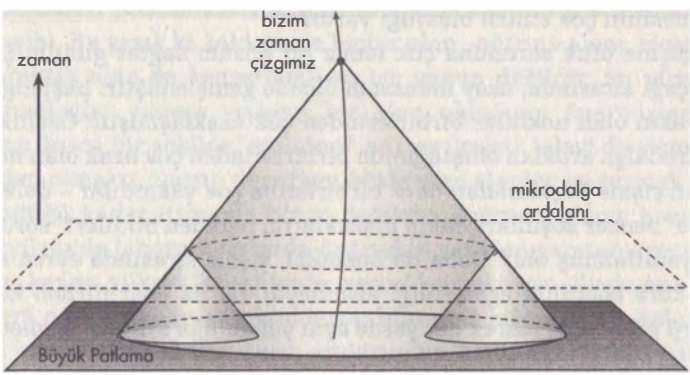
Bu iyi güzel de durağan bir kara deliğin olay ufkunun aksine, kendi zaman çizgimiz boyunca yaşlandıkça kozmolojik ufkumuzun büyüdüğünü idrak ettiğimizde, işler ilginçleşir. Biz yaşlandıkça, bir zamanlar dışarda yer alan geçmiş ışık konilerimiz artık ufkumuzdan içeri girerler. (Zaman çizgileri hareket etmemiştir – ufkumuz onları da içerecek biçimde genişlemiştir.)

Dolayısıyla geçmişte uzakta kalan olayların, bununla orantılı olarak daha küçük kozmolojik ufukları vardır; Büyük Patlamaya (zamanda) daha yakındırlar, bu yüzden geçmişte daha az olay bulunur. Şekil 77'de gösterildiği gibi, gökyüzünün karşılıklı yanlarında yer alan kozmik mikrodalga ardalanında gözlemlediğimiz farklı noktaları düşünün. Mikrodalga ardalanı bize, elektronlar ve protonların atomları oluşturacağı kadar soğuduğunda –Büyük Patlamadan yaklaşık 380.000 yıl sonra– evrenin saydamlaştığı anın bir resmini gösterir. O noktadaki yerel koşullara –yoğunluk, genişleme hızı ve benzerleri– bağlı olarak, bugün bize çok farklı görünebilirler. Ama öyle olmuyor. Bizim perspektifimizden, mikrodalga ardalan göğündeki tüm noktalar benzer sıcaklıklara sa-

hipler; bir noktadan diğerine yalnızca on binde bir fark ediyorlar. Bu yüzden, tüm bu farklı noktalardaki fiziksel koşulların hayli benzer olması gerekir.



Şekil 76: Kozmolojik ufuk geçmiş ışık konimizin Büyük Patlamayla kesiştiği yer tarafından tanımlanır. Zamanda ilerledikçe, ufkumuz büyür. A anında ufkumuzun dışında yer alan bir zaman çizgisi, B anına geldiğimizde ufkun içine girer.



Şekil 77: Ufuk sorunu. Kozmik mikrodalga ardalanında birbirlerinden çok uzak noktalara bakıyoruz ve yaklaşık aynı sıcaklıkta olduklarını görüyoruz. Ama bu noktalar birbirlerinin ufuklarının çok dışındalar; aralarında hiçbir işaret olmamıştır. Aynı sıcaklıkta olacaklarını nereden biliyorlar?

Ufuk sorunu şudur: bu birbirlerinden çok uzak noktalar, nasıl oluyor da neredeyse aynı koşullara sahip olacaklarını biliyorlar? Her ne kadar hepsi bizim kozmolojik ufkumuz içinde olsalar da kendi kozmolojik ufukları çok daha küçüktür, çünkü Büyük Patlamaya çok daha yakındırlar. Bu günlerde, kozmoloji okuyan lisansüstü öğrenciler için standart Büyük Patlama modeli çerçevesinde böylesi noktaların kozmolojik ufuklarını hesaplamak standart alıştırmalardandır; yanıt bu aralarında gökyüzünde bir dereceden fazla uzaklık olan noktaların birbirleriyle kesişmeyen ufuklara sahip olduklarıdır. Diğer bir deyişle, uzay-zamanda tüm bu farklı noktaların geçmişinde yer almış bir olay yoktur ve herhangi bir işaretin bunların hepsine ulaştırılmış olmasının bir yolu da yoktur.[7] Ama yine de neredeyse aynı fiziksel koşullara sahiptirler. Nereden biliyoruz?

Bu binlerce kişiden bir ile bir milyon arasında bir sayı seçmelerini isteyip, hepsinden 836.820 ile 836.830 arasında yanıtlar almanıza benzer. Bunun rastlantı olmadığından kesinlikle emin olursunuz – bu insanlar bir şekilde birbirleriyle anlaşmışlardır. Ama nasıl? Ufuk sorunu budur. Görebileceğiniz gibi, bu entropi sorunuyla yakından ilişkilidir. Tüm erken evrenin çok benzer koşulları paylaşması düşük entropili bir kurulumdur, çünkü gerçekleşmesinin çok sınırlı olasılığı vardır.

Şişme ufuk sorununa çok temiz bir çözüm sağlar gibidir. Şişme çağı sırasında, uzay muazzam ölçüde genişlemiştir; başlangıçta yakın olan noktalar birbirlerinden çok uzaklaşmıştır. Özellikle, mikrodalga ardalan oluştuğunda birbirlerinden çok uzak olan noktalar, şişme başlamadan önce birbirlerine çok yakındılar – dolayısıyla "benzer koşullara sahip olacaklarını nereden bildiler?" sorusu da yanıtlanmış olur. Daha da önemlisi, şişme sırasında evren süper-kara enerjinin egemenliği altındaydı, bu da –her türden kara enerji gibi– esas olarak her yerde aynı yoğunluğa sahipti. Şişmenin

[7] Büyük Patlamanın da bir nokta olması nedeniyle, evrendeki her olayın mutlaka Büyük Patlamayla kesişeceğini düşünebilirsiniz. Ama bu yanıltıcıdır. Bir kere, Büyük Patlama uzayda bir nokta değildir – zamanda bir andır. Daha da önemlisi, klasik genel görelilikte Büyük Patlama bir tekilliktir ve uzay-zamana dahil bile edilmemesi gerekir; yalnızca Büyük Patlama sonrasında olanlar hakkında konuşmalıyız. Ve Büyük Patlamanın hemen sonrasındaki anları da dahil etsek bile geçmiş ışık konileri kesişmeyeceklerdir.

başladığı uzay parçasında başka enerji biçimleri olmuş olabilir, ama bunlar hızla seyrelmişlerdir; şişme, uzayı dümdüz gerer, buruşuk bir yatak çarşafını köşelerinden çekmişsiniz gibi. Şişmenin doğal sonucu, büyük ölçeklerde fazlasıyla tekbiçimli bir evrendir.

GERÇEK VE SAHTE VAKUMLAR

Şişme, erken evrende gözlemlediğimiz özellikleri açıklamak için basit bir mekanizmadır: uzayın küçük bir parçasını gerip onu düz ve buruşuksuz bir duruma getirerek, düzlük ve ufuk sorunlarını çözer, manyetik monopoller gibi istenmeyen kalıntıları da seyreltip yok eder. Peki aslında nasıl işler?

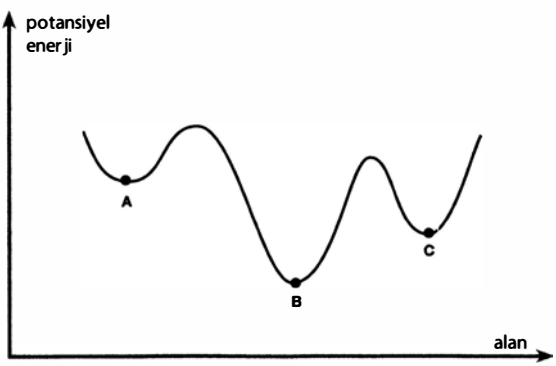
Açıkça, şişmenin marifeti evrenin genişlemesini bir süreliğine sürükleyip sonra da aniden ortadan kaybolan geçici bir süper-kara enerji biçimidir. Bu zor görünebilir, çünkü kara enerjinin tanımlayıcı özelliği uzay ve zamanda neredeyse sabit olmasıdır. Bu büyük ölçüde doğrudur, ama yoğunlukta ani değişmeler olabilir – kara enerjinin patlayan bir kabarcık gibi aniden değer kaybettiği "evre geçişleri." Bu biçimde bir evre geçişi, şişmenin sırrıdır.

Şişmeyi sürükleyen bu süper-kara enerjiyi yaratanın ne olduğunu merak etmiş olabilirsiniz. Yanıt, bir kuantum alanıdır, tıpkı titreşimleri çevremizde parçacıklar olarak kendini gösteren alanlar gibi. Ne yazık ki, bildiğimiz hiçbir alan –nötrino alanı, elektromanyetik alan ve benzerleri– bu işe uygun değildir. Bu yüzden kozmologlar sadece yepyeni bir alan olduğunu önermişlerdir, buna farazi bir şekilde "enflaton"* adı verilmişti, işlevi de şişmeye neden olmaktı. Durup dururken böyle yeni alanlar uydurmak göründüğü kadar itibarsız bir iş değildir; doğrusu, şişme burada, Yeryüzünde laboratuvarlarda doğrudan yeniden yaratamayacağımız kadar yüksek enerjilerde gerçekleşmektedir. Kuşkusuz bu enerji düzeylerinde, ne olduklarını bilmesek bile anlamlı hale gelen birçok alan vardır; soru, aralarından herhangi birinin enflaton olmak için gerekli özelliklere sahip olup olmadığıdır. (Yani bozunmadan önce evreni muazzam bir oranda genişletecek geçici bir süper-kara enerji evresine neden olup olmayacağı.)

* Türkçe karşılığı "şişme" olan terimin İngilizcesi "inflation" olarak geçmektedir, bu yüzden bununla ilgili alana da "inflaton" adı verilmiştir. Dolayısıyla terimin Türkçesi olarak "enflaton" uygun bir terim olmaktadır –çn.

Şimdiye kadarki kuantum alanları tartışmalarımızda, böylesi alanlardaki titreşimlerin parçacıkları doğurduğunu vurguladık. Bir alan her yerde sabitse, yani titreşim yoksa, herhangi bir parçacık göremezsiniz. Tek tasamız parçacıklar olsaydı, alanın ardalan değeri –tüm titreşimlerin ortalamasını aldığımızda edineceği ortalama değer– önemli olmazdı, çünkü doğrudan gözlemlenebilir değildir. Ama bir alanın ardalan değeri *dolaylı* şekilde gözlemlenebilir – özellikle, enerji taşıyabilir ve dolayısıyla uzay-zamanın eğikliğini etkiler.

Bir alanla ilişkili enerji farklı şekillerde ortaya çıkabilir. Genellikle alan uzay-zamanda bir noktadan diğerine değiştiği için ortaya çıkar; değişen alan değerleriyle ilişkili gerilmede enerji vardır, tıpkı bir lastik tabakasındaki dalgalanmalar ve titreşimlerde olduğu gibi. Ama buna ek olarak, alanlar sabit bir değerle orada dururlarken de enerji taşıyabilirler. Zamandan zamana ya da bir yerden diğerine değişmelerde değil de alanın değeriyle ilişkili bu tür enerji "potansiyel enerji" olarak bilinir. Kusursuz düzlükte bir lastik tabakası, yerde olmasına göre yüksek irtifada daha fazla enerjiye sahiptir; bunu biliyoruz, çünkü tabakayı alıp aşağıya atarsak bu enerjiyi çıkartabiliriz. Potansiyel enerji başka enerji türlerine dönüştürülebilir.



Şekil 78: Potansiyel enerjinin, enflaton gibi farazi bir alanın ardalan değerine göre nasıl değiştiğini gösteren bir eğri. Alanların enerji eğrisinde kimi düşük noktalara yuvarlanma eğilimleri vardır; bu eğride, A, B ve C noktaları vakumun olabileceği farklı evreleri temsil eder. B evresi en düşük enerjiye sahiptir, bu yüzden "gerçek vakumdur," A ve C ise "sahte vakumlar."

Bir lastik tabakası (ya da Yeryüzünün kütleçekim alanında duran herhangi bir nesne) için, potansiyel enerji çok açık bir davranışa sahiptir: irtifanın yüksekliğiyle orantılı olarak, potansiyel enerji yükselir. Alanlar söz konusu olduğunda, iş çok daha karışık duruma gelebilir. Yeni bir parçacık fiziği kuramı icat ediyorsanız, potansiyel enerjinin her alanın değerine özellikle nasıl bağlı olduğunu belirtmeniz gerekir. Altta yatan size rehberlik edecek pek bir kural yoktur; her alan sadece her olası değer için bir potansiyel enerjiyle ilişkilidir ve bu da kuramın tanımlamasının bir parçasıdır. Şekil 78 farazi bir alanda farklı alan değerlerinin bir fonksiyonu olarak potansiyel enerjiye bir örnek verir.

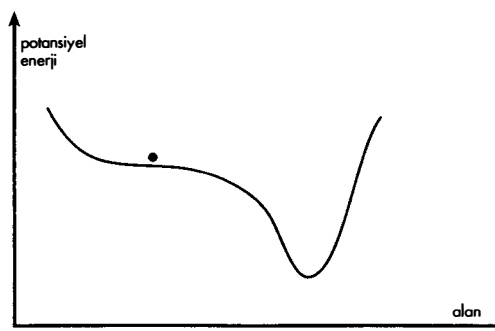
Potansiyel enerjiye sahip ama başka hiçbir şeyi (titreşim, hareket ya da sapma) olmayan bir alan, orada öylece değişmeden durur. Santimetre küp başına potansiyel enerji de dolayısıyla evren genişliyor olsa bile sabittir. Bunun ne anlama geldiğini biliyoruz: bu vakum enerjisidir. (Daha titiz olursak, vakum enerjiye olası birçok katkıdan biridir.) Alanı yokuş aşağı yuvarlanan bir top gibi düşünebilirsiniz; bir vadinin enerjinin en düşük olduğu dibine yerleşme eğiliminde olur – en azından, yakındaki değerlerden daha düşük olan bir yere. Enerjinin daha da düşük olduğu alan değerleri de olabilir, ama bu daha derin "vadiler," "tepeler" tarafından birbirlerinden ayrılmıştır. Şekil 78'de, alan A, B ya da C değerlerinden herhangi birinde mutlu mesut yaşayabilir, ama yalnızca B en düşük enerji değerine sahiptir. A ve C değerleri "sahte vakumlar" olarak bilinir, çünkü yalnızca hemen yanındaki değerlere baktığınızda en düşük enerji durumları olarak görülürler, halbuki B, enerjinin gerçekten en düşük değerde bulunduğu "gerçek vakum" olarak bilinir. (Bir fizikçi için bir "vakum," yerlerinizi süpüren bir makine değildir,* "boş uzay" anlamına da gelmez. Bu sadece "bir kuramın en düşük enerjili durumudur." Bir alanın potansiyel enerji eğrisine baktığınızda, her vadinin dibi ayrı bir vakum durumunu tanımlar.)

Guth şişen evren senaryosunu inşa etmek için bu fikirleri bir araya getirdi. Farazi bir enflaton alanının kendini sahte vakumlardan biri olan A noktasında bulduğunu tasavvur edin. Alan vakum

* ABD'de elektrik süpürgesi, havayı emerek çalıştığı için "vacuum cleaner" yani vakum temizleyici olarak adlandırılır, yazar buraya göndermede bulunuyor –çn.

enerjisine önemli bir katkıda bulunacak ve bu da evrenin süratle hızlanmasına neden olacaktır. O zaman tek yapmamız gereken, alanın sahte vakum A noktasından şimdi bulunduğumuz gerçek vakum B'ye –alana kapatılmış bulunan enerjiyi olağan madde ve ışınıma çeviren evre geçişi– nasıl geçtiğini açıklamaktır. Guth'un özgün önerisi gerçek vakum kabarcıklarının sahte vakumun içinde belireceği sonra da büyüyüp diğer kabarcıklarla çarpışarak tüm uzayı kaplayacağı yönündeydi. "Eski şişme" olarak da bilinen bu olasılığın işe yaramadığı anlaşıldı; ya geçiş çok hızlı gerçekleşiyordu ve yeteri kadar şişme elde edemiyordunuz ya da çok yavaş gerçekleşiyordu ve evrenin şişmesi hiç durmuyordu.

Neyse ki, Guth'un özgün makalesinin hemen ardından, alternatif bir öneride bulunuldu: şişmenin bir sahte vakum "vadisinde" sıkışacağına, yüksek bir platoda yola çıktığını tasavvur edin – neredeyse düz olan uzun bir alanda. O zaman alan yavaşça platodan aşağıya yuvarlanır, enerjiyi neredeyse sabit tutar, ama tam değil ve nihayetinde bir uçurumdan aşağıya yuvarlanır (evre geçişi). Buna "yeni şişme" adı verilir ve bugün kozmologlar arasında şişen evrenin en popüler uygulamasıdır.[8]



Şekil 79: "Yeni şişme"ye uygun bir potansiyel enerji eğrisi. Alan hiçbir zaman bir vadiye sıkışmaz ve yüksek bir platoda yavaşça aşağıya doğru yuvarlanır ve nihayet en düşük değere çöker. Bu evre süresince enerji yoğunluğu tam olarak sabit değildir, ama neredeyse öyledir.

Ama hepsi bu değil. Ufuk, düzlük ve monopol sorunlarına bir çözüm önermenin yanında, şişme tamamen beklenmedik bir ek

[8] Özgün makaleler Andrei Linde (1981) ile Andreas Albrecht ve Paul Steinhardt (1982) tarafından yazılmıştır. Erişilebilir bir tartışma için, *bkz.* Guth (1997).

ödül de getirir: erken evrende görülen ve daha sonra da büyüyüp yıldızları ve galaksileri oluşturan küçük dalgalanmaların da kökenini açıklayabilir.

Mekanizma basit ve kaçınılmazdır: kuantum dalgalanmaları. Şişme, evreni olabildiğince pürüzsüz duruma getirebilmek için elinden geleni yapar, ama kuantum mekaniğinin dayattığı temel bir sınır vardır. İşler *fazla* pürüzsüz olamaz, çünkü o zaman evrenin durumunu fazla hassasiyetle belirleyerek Heisenberg Belirsizlik İlkesini çiğnemiş oluruz. Şişme sırasında bir yerden diğerine enerji yoğunluğundaki kaçınılmaz kuantum bulanıklığı, şişmenin dönüştüğü madde ve ışınım miktarına kazınır ve bu da erken evrende görmemiz gereken yoğunluk tedirgemelerinin ne türden olacağı üzerine çok özgül öngörülere dönüşür. Kozmik mikrodalga ardalanında sıcaklık dalgalanmalarını belirleyen ve nihayetinde yıldızlar, galaksiler ve kümeler şeklinde genişleyen bu ilksel tedirgemelerdir. Şimdiye kadar, şişme tarafından öngörülen türden tedirgemeler, gözlemlerle çok iyi örtüşmektedir.[9] Gökyüzünde, uzaydaki galaksilerin dağılımına bakmak ve bunların, evren saniyenin birimi kadar ilerlemişken kuantum dalgalanmalarından kaynaklandıklarını tasavvur etmek nefes kesicidir.

EBEDİ ŞİŞME

Şişme ilk kez önerildikten sonra, kozmologlar hevesle bunun özelliklerini çeşitli farklı modellerde araştırmaya koyuldular. Bu incelemeler sırasında, Rus kökenli Amerikalı fizikçiler Alexander Vilenkin ve Andrei Linde ilginç bir şey fark ettiler: şişme bir başladığında, hiç durmama eğilimi gösteriyordu.[10]

Bunu anlayabilmek için, her ne kadar olgu yeni şişmede de gerçekleşiyor olsa da aslında eski şişmeye dönmek daha kolaydır. Eski şişmede, enflaton alanı yavaşça tepe aşağı yuvarlanacağına sahte vakumda sıkışıp kalır; uzayın geri kalanı boş olduğundan, şişme sırasında evren çok yüksek enerji yoğunluklu de Sitter uzayı biçimini alır. Marifet, bu evreden nasıl çıkacağınızdadır – şişmenin durmasını ve de Sitter uzayının geleneksel Büyük Patlama modelindeki sıcak, genişleyen evrene dönüşmesini nasıl sağla-

[9] *Bkz.* örneğin Spergel vd (2003).

[10] *Bkz.* Vilenkin (1983), Linde (1986), Guth (2007).

yacaksınız? Enflaton alanının sahte vakum durumunda biriken enerjiyi, bir şekilde olağan madde ve ışınıma dönüştürmemiz gerekir.

Bir alan sahte vakumda sıkıştığında, daha düşük enerjili gerçek vakuma bozunmak ister. Ama bunu birden gerçekleştiremez; sahte vakum kabarcıklar aracılığıyla bozunur, tıpkı sıvı suyun su buharına dönüşürken kaynaması gibi. Rastgele aralıklarla, sahte vakumun içinden kuantum dalgalanmaları süreci aracılığıyla küçük gerçek vakum kabarcıkları ortaya çıkıverir. Her kabarcık büyür ve içindeki uzay genişler. Ama kabarcığın dışındaki uzay daha da hızlı genişler, çünkü hâlâ yüksek enerjili sahte vakumun egemenliğindedir.

Yani bir yarışma söz konusudur: gerçek vakum kabarcıkları ortaya çıkar ve büyür, ama aralarındaki uzay da büyüyor ve kabarcıkları uzaklaştırıyordur. Hangisi kazanacaktır? Bu kabarcıkların ne kadar hızlı yaratıldıklarına bağlıdır. Yeterince hızlı oluşurlarsa, bütün kabarcıklar tokuşur ve sahte vakumdaki enerji madde ve ışınıma dönüşür. Ama kabarcıkların fazla hızlı oluşmalarını da istemeyiz – yoksa çözmek istediğimiz kozmolojik bilmeceleri hitap edecek kadar şişme elde edemeyiz.

Eski-şişme kuramı açısından ne yazık ki, mutlu bir uzlaşma olmaz. Kozmolojik bilmecelerimizi çözmek için yeterli şişme elde etmekte inat edersek, kabarcıklar o kadar seyrek oluşur ki, bütün uzayı doldurmayı hiçbir zaman beceremezler. Tek tek kabarcıklar şans eseri tokuşabilir; ama toplam kabarcık dizileri, bütün sahte vakumu gerçek vakuma dönüştürebilecek kadar hızlı genişleyip birbirleriyle karşılaşmazlar. Muazzam hızla genişleyen sahte vakumda sıkışıp kalmış olan kabarcıklar arasında hep belli bir uzay olur. Kabarcıklar oluşmayı sürdürseler bile toplam sahte vakum miktarı giderek büyür, çünkü uzay kabarcıkların yaratıldıklarından daha hızlı genişlemektedir.

O zaman elimizde kalan kargaşadır, kaotik, parçalı bir gerçek vakum kabarcıkları dağılımı ve çevresinde muazzam bir hızla büyüyen sahte vakum bölgeleri. Bu aşina olduğumuz, pürüzsüz, yoğun erken evrene hiç benzemiyor gibidir, bu yüzden yeni şişme geldiğinde eski şişme bir kenara bırakıldı.

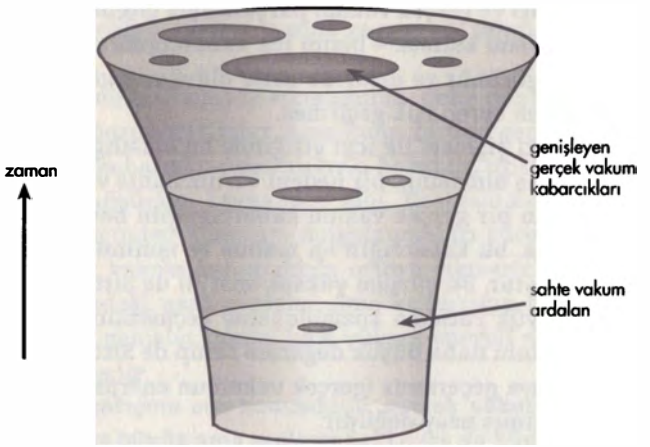
Ama bir boşluk vardır: Ya gözlemlenebilir evrenimiz tek bir kabarcığın *içinde* yer alıyorsa? O zaman dışarıdaki uzayın, sahte

vakum parçaları ve gerçek vakum parçalarıyla çılgınca ayrışık olmasının bir önemi kalmaz – bizim tek kabarcığımızın içinde, her şey pürüzsüz görünür ve dışarıda neler olduğunu gözlemleyemeyiz, çünkü erken evren ışık geçirmez.

Guth'un eski şişmeyi ilk icat ettiğinde bu olasılığı göz önünde bulundurmamış olmasının bir nedeni vardır. Sahte vakumun içinde ortaya çıkan bir gerçek vakum kabarcığı gibi basit örneklerle yola çıkarsanız, bu kabarcığın içi madde ve ışınımla dolu olmaz – tamamen boştur. Bu yüzden yüksek enerjili de Sitter uzayından geleneksel Büyük Patlama kozmolojisine geçmezsiniz; doğrudan vakum enerjisinin daha düşük değerine sahip de Sitter uzayı biçiminde boş uzaya geçersiniz (gerçek vakumun enerjisi artıysa). Bu içinde yaşadığımız uzay değildir.

Kozmologların bunun fazla aceleyle varılmış bir sonuç olduğunu anlamaları çok sonraları oldu. Doğrusu, bir gerçek vakum kabarcığının içini "yeniden ısıtmanın," Büyük Patlama modelinin koşullarını yaratmanın bir yolu yoktur: bir kabarcığın içinde yeni şişme vakasını. Kabarcığın içindeki enflaton alanının gerçek vakuma karşılık gelen potansiyelinin dibine doğrudan inmediğini tasavvur ederiz; bunun yerine, aradaki platoya iner ve buradan yavaşça o en aza doğru yuvarlanır. Bu yolla, her kabarcığın içinde yeni bir şişme evresi olabilir; platodayken enflaton potansiyelinden gelen enerji yoğunluğu daha sonra madde ve ışınıma dönüşebilir ve kusursuz gerçekleşebilirlikte bir evren elde ederiz.[11]

[11] Bu senaryo biraz yanıltıcı "açık şişme" adıyla icat edilmiştir (Bucher, Goldhaber ve Turok, 1995). O zamanlarda, kara enerjinin keşfi öncesinde, kozmologlar biraz endişelenmeye başlamıştı – şişme güçlü bir şekilde evrenin uzaysal olarak düz olduğunu öngörüyordu, ama madde yoğunluğu üzerine gözlemler bunun işleyebilmesi için gereken enerjinin mevcut olmadığını gösterip duruyordu. Kimileri paniğe kapıldı ve mutlaka düz bir evrene yol açmayacak şişme modelleri geliştirmeye çalıştı. Bunun gerekli olmadığı ortaya çıktı – kara enerji tam olarak evreni düz kılacak enerji yoğunluğuna sahiptir ve kozmik mikrodalga ardalanı üzerine gözlemler güçlü bir şekilde bunun düz olduğunu gösteriyordu (Spergel vd, 2003). Ama bunun mahsuru yoktur, çünkü panikten akıllıca bir fikir doğmuştur – sahte vakum ardalanına gömülü bir kabarcığın içinde gerçekçi bir evren nasıl yapılır?



Şekil 80: Sahte vakum de Sitter uzayının eski şişmede gerçek vakum kabarcıklarına bozunması. Kabarcıklar hiçbir zaman tamamen tokuşmazlar ve sahte vakum evresindeki uzay miktarı ebediyen çoğalır; şişme hiçbir zaman sona ermez.

Böylece eski şişme, bir başladı mı, hiç bitmez. Bizim evrenimize benzeyen kabarcıklar yapabilirsiniz, ama dışarıdaki sahte vakum bölgeleri hep büyümeyi sürdürecektir. Başka kabarcıklar ortaya çıkacak ve süreç hiç sona ermeyecek. Bu "ebedi şişme" fikridir. Her şişme modelinde gerçekleşmez; olup olmayacağı, enflatonun ayrıntılarına ve potansiyeline bağlıdır.[12] Ama kuramı ebedi şişmeye yer açacak kadar çok kötü ince ayarlamanız gerekmez; şişme modellerinin yeterli bir bölümünde gerçekleşir.

[12] Doğrusu, ebedi şişme üzerine erken dönem makaleler kabarcık içinde yeni şişme olan eski şişme bağlamında değil, yeni şişme bağlamında kurulmuştu. Yeni şişmede şişmenin ebedi olması aslında daha şaşırtıcıdır, çünkü alanın potansiyel enerjisi tarafından tanımlanan tepeden aşağıya yuvarlanacağını düşünürsünüz. Ama yuvarlanan alanda kuantum dalgalanmaları bulunduğunu anımsamalıyız; koşullar yerinde olursa, bu dalgalanmalar hayli büyük olabilir. Doğrusu, bu dalgalanmalar alan ortalamada yokuş aşağı gitse de uzayın bazı bölgelerinde yokuş yukarı gideceği kadar büyük olabilirler. Yukarı yuvarlandığı bölgeler nadirdir, ama enerji yoğunluğu daha fazla olduğu için daha hızlı genişlerler. Sonunda elimizde eski şişme kuramına benzer bir görüntü olur; birçok evren aşağıya yuvarlanıp madde ve ışınıma dönüştüren bir enflaton yaşar, ama giderek artan bir hacim şişme evresinde sıkışıp kalır ve şişme hiç sona ermez.

ÇOKLU EVREN

Ebedi şişme konusunda söyleyecek çok şey vardır, ama sadece bir sonucuna odaklanalım: Gördüğümüz evren büyük ölçeklerde çok pürüzsüz görünürken, evren daha da büyük (gözlemlenemez) ölçeklerde pürüzsüz olmaktan çok uzak olacaktır. Gözlemlenen evrenimizin büyük ölçekli tekbiçimliliği bazen kozmologları bunun her yönde sonsuz uzaklıklara kadar böyle gittiğine inanmaya yöneltmektedir. Ama bu hep hayatımızı kolaylaştıran bir kabul olmuştur, sağlam bir mantık zincirinin sonucu değil. Ebedi şişme senaryosu evrenin gidebildiği yere kadar pürüzsüz uzanmadığını öngörür; gözlemlenebilir ufkumuzun çok uzağında, işler eninde sonunda çok farklı gözükmeye başlar. Gerçekten de oralarda bir yerlerde, şişme hâlâ devam ediyor. Bu senaryo açıktır ki şu anda çok spekülatiftir, ama aşırı büyük ölçeklerde, evrenin, hiç değilse muhtemelen bizim doğrudan erişimimiz olan minik evren parçasından çok daha farklı olduğunu akılda tutmak önemlidir.

Bu durum kimi yeni sözdağarlarının ortaya atılmasına ve kimi eski sözdağarlarının da istismar edilmesine yol açmıştır. Eğer durumu doğru kurarsak, her gerçek vakum kabarcığı kabaca bizim gözlemlenebilir evrenimize benzer: eskiden sahte vakumda bulunan enerji olağan madde ve ışınıma dönüştürülür ve sıcak, yoğun, pürüzsüz, genişleyen bir evren buluruz. Bir kabarcığın içinde yaşayan birisi diğer kabarcıklardan herhangi birini (eğer bir tokuşma olmazsa) göremeyecektir – yalnızca kendi kabarcıklarının başlangıcındaki Büyük Patlama benzeri koşulları görecektir. Bu görüntü aslında en basit *çoklu evren* örneğini temsil eder – geri kalanlardan ayrı şekilde evrilen her kabarcık kendi içinde bir evren şeklinde evrilir.

Açıktır ki burada *evren* sözcüğünü biraz serbest kullanıyoruz. Daha dikkatli olsaydık, *evren* sözcüğünü görsek de görmesek de orada bulunan her şeyin toplamı için kullanırdık. (Ve arada bir de karışıklığı artırmak üzere, öyle kullanırız.) Ama kozmologların çoğunluğu terimceyi bir süredir istismar etmektedir ve diğer bilim insanlarıyla iletişim kurmak istiyorsak, aynı dili konuşmakta yarar vardır. "Evrenimiz 14 milyar yaşındadır," cümlesini o kadar sık duyduk ki, dönüp onları "en azından evrenimizin gözlemlenebilir parçası," diye düzeltmek istemeyiz. Bunun yerine, insanlar

evren sözcüğünü uzay-zamanın bizim gözlemlenebilir evrenimize benzeyen, sıcak, yoğun bir durumdan başlayıp oradan genişleyen bir parçasına yakıştırıyor. Alan Guth fikri biraz daha doğrulukla yansıtan *cep evrenleri* terimini önermiştir.

Çoklu evren, dolayısıyla bir cep evrenleri –dramatik bir başlangıcın ardından genişleyen ve soğuyan gerçek vakum bölgeleri– topluluğu ve onların içinde yer aldıkları, ardalandaki şişen uzay-zamandır. Bunun üzerine düşündüğünüzde, bu "çoklu evren" fikri üzerine hakikaten alelade bir düşünce. Gerçekten de bu, sadece her biri gözlemlediğimiz evrene benzer yollardan evrilen farklı uzay bölgeleri topluluğudur.

Bu tür çoklu evrenin ilginç bir özelliği, yakın zamanlarda çok fazla dikkat çekmiştir: yerel fizik yasaları bu cep evrenlerinin her birinde çok farklı olabilirler. Şekil 78'de şişme için bir enerji eğrisi çizdiğimizde, üç farklı vakum durumu göstermiştik (A, B, C). Ama bundan çok daha fazlası için durmaya gerek yok. On İkinci Bölümde kısaca değinmiş olduğumuz gibi, sicim kuramı muazzam sayıda vakum durumu öngörmektedir: 10^{500} kadar, belki daha da çok. Bu tür her durum uzay-zamanın kendini içinde bulacağı farklı bir evredir. Bu da farklı kütleleri ve etkileşimleri olan farklı parçacık türleri –temelde, her evrende tamamen yeni fizik yasaları– demektir. Bu yine biraz dil istismarıdır, çünkü altta yatan yasalar (sicim kuramı ya da her neyse) hâlâ aynıdır; ama kendilerini farklı şekillerde gösterirler, tıpkı suyun katı, sıvı ve gaz olabileceği gibi. Sicim kuramcıları bugünlerde olası vakum durumları "manzaralarından" söz ediyorlar.[13]

Ama kuramınızın hepsi kendi fizik yasaları bulunan birçok farklı vakum durumuna *izin vermesi* başka şeydir; farklı durumların hepsinin gerçekten çoklu evrende bir yerlerde *var olduğunu* iddia etmek başka şey. Ebedi şişme burada devreye girer. Şişmenin sahte bir vakum durumunda gerçekleştiği ve (her cep evreninin içinde) gerek kabarcık oluşumuyla gerekse de yavaşça yuvarlanarak gerçek bir vakuma evrilip sona erdiği bir öykü anlattık. Ama şişme ebediyen devam edecekse, bunun farklı cep evrenlerinde farklı vakum durumlarına evrilmesini durduracak bir şey yoktu;

[13] *Bkz.* Susskind (2006) veya Vilenkin (2006). Daha önce, farklı vakum durumlarının manzaraları üzerine ilgili sürümler için, Smolin (1993).

doğrusu, ondan bekleyeceğiniz tam da budur. Böylece ebedi şişme olası tüm evrenleri alıp bunları gerçek kılmak için bir yol sunar.

Bu senaryo –doğruysa– derin sonuçlarıyla birlikte gelir. En bariz olanı, Her Şeyin Kuramı temelinde gözlemlediğimiz fizik özelliklerini (nötrinonun kütlesi, elektronun yükü ve benzerleri) eşsiz biçimde öngörmek konusunda bazı umutlar beslediyseniz, bu umutlar artık çöpe gitmiştir. Fizik yasalarının yerel tezahürleri bir evrenden diğerine farklılık gösterecektir. Antropik ilke doğrultusunda bazı istatistiksel öngörülerde bulunabileceğinizi umabilirsiniz; "Çoklu evrendeki gözlemcilerin yüzde altmış üçü üç fermiyon ailesi bulacaktır," ya da buna benzer bir şeyler. Ve birçokları tam da bunu gerçekleştirebilmek için çok çalışıyor. Ama bunun mümkün olup olmadığı bile çok açık değil, özellikle de ebediyen genişleyen bir evrende bazı özellikleri deneyimleyen gözlemci sayısı büyük olasılıkla sonsuz büyüklükte olduğu için.

Bu kitabın amaçları açısından, çoklu evrenle çok ilgileniyoruz, ama birçok farklı vakumdaki manzaraların ayrıntılarıyla ya da antropik ilkeyi yararlı bir öngörüler kümesine sokma çabalarıyla değil. Bizim sorunumuz –evrenin erken zamanlardaki küçük entropisi– o kadar bariz ve dramatik ki, buna antropik ilke yoluyla girişmekte bir umut yok; yaşam kuşkusuz çok daha yüksek entropili bir evrende var olabilirdi. Daha iyisini yapmak zorundayız, ama bir çoklu evren fikri pekâlâ doğru yolda bir adım olabilir. En azından, görmekte olduğumuzun evren konusunda görülecek her şey olmadığını önerir.

ŞİŞME NE İŞE YARAR?

Bir toparlayalım. Kozmologların şişme konusunda kendi kendilerine anlatmayı sevdikleri öykü[14] şöyle bir şeydir:

> Aşırı erken evrendeki koşulların neye benzediğini bilmiyoruz. Yoğun ve kalabalık olduğunu, ama mutlaka pürüzsüz olmadığını kabul edelim; bir yerden diğerine çılgın dalgalanmalar olabilir. Bunlar kara delikler, salınan alanlar hatta bir şekilde boş

[14] Şişme üzerine ilk makalelerde, erken evrendeki parçacıkların termal dengeye yakın oldukları ima yoluyla kabul edilmişti. Burada anlatılan ve biraz daha sağlammış gibi duran senaryo "kaotik şişme" adıyla bilinir ve ilk kez Andrei Linde (1983, 1986) tarafından açıklanmıştır.

parçalar içerebilir. Şimdi bu kargaşanın içinde en azından bir küçük uzay bölgesinin görece sakin olduğunu, enerji yoğunluğunun da büyük ölçüde enflaton alanından kaynaklanan süper-kara enerjiden oluştuğunu tasavvur edin. Uzayın geri kalanı kaotik durumunu sürdürürken, bu parça şişmeye başlar; hacmi muazzam oranlarda artar, ama eskiden var olan tedirgemeler şişmenin gerdirmesiyle temizlenir. Günün sonunda bu parça, başlangıçta dalgalanan ilksel çorbanın geri kalanında ne olduğundan bağımsız olarak, standart Büyük Patlama modeli tarafından betimlenen bizim evrenimize benzeyen bir uzay bölgesine evrilir. Dolayısıyla başlangıç koşullarında büyük mesafelerde uzaysal olarak düz ve tekbiçimli olması için gerekli herhangi bir hassas, doğa dışı ince ayar gerektirmez; güçlü bir şekilde genel, rastgele dalgalanan başlangıç değerlerinden kaynaklanır.

Hedefin, bugün içinde yaşadığımıza benzer bir evrenin nasıl olup da erken evrendeki dinamik süreçlerin sonucunda doğal olarak ortaya çıktığını açıklamak olduğuna dikkat edin. Şişme sadece evrenimizin erken zamanlardaki görünürde ince ayarlı özelliklerine bir açıklama getirmeyi amaçlar; erken evren neyse odur ve bunu "açıklamaya" çalışmanın bir anlamı yoktur diye bir tavır takınırsanız, o zaman şişmenin size sunacağı bir şey yoktur.

İşliyor mu? Şişme gerçekten de görünürde doğa dışı başlangıç koşullarımızın neden aslında hayli olası olduğunu gerçekten açıklıyor mu? Şişmenin *kendi başına* bu soruları hiç de yanıtlamadığını öne sürmek isterim; nihai öykünün bir parçası olabilir, ama bu fikrin herhangi bir güce sahip olabilmesi için, şişme *öncesinde* ne olduğuna dair bazı fikirlerle de desteklenmesi gerekir. Bu bizi (yani beni) doğrudan, tamamen yalnız başına bırakmasa da güncel kozmolojinin azınlığına yerleştirir; alanda çalışanların çoğunluğu şişmenin, reklamı yapıldığı gibi, standart Büyük Patlama modelini kirleten ince ayar sorunlarını ortadan kaldıracak şekilde işlediğinden emindir.[15] Kendi kararınızı kendiniz vermelisiniz, ama şunu da aklınızda tutun ki, nihai kararı verecek olan doğadır.

Geçen bölümde, evrenimiz içinde entropinin evrimini tartışmak amacıyla, "birlikte hareket eden parça" fikrini ortaya atmıştık –evrenin fiilen bizim tarafımızdan gözlemlenebilen ve zaman içinde evrilen fiziksel bir sistem olarak düşünülen bir parçası–

[15] Örneğin *bkz.* Penrose (2005), Hollands ve Wald (2002).

her ne kadar tam anlamıyla yalıtılmış olmasa da evrenin geri kalanının bizim parçamız içinde olup bitenleri önemli ölçüde etkilediğini düşünmüyoruz. Bu şişme senaryosunda da aynı kalır. Bizim parçamız kendisini çok küçük olduğu, süper-kara enerjinin egemenliğinde bir kurulumun içinde bulur; evrenin diğer parçaları dramatik ölçüde farklı görünebilir, ama kimin umurunda?

Daha önce erken evren bilmecesini entropi terimleriyle sunmuştuk. Birlikte hareket eden parçamız bugün yaklaşık 10^{101} civarında bir entropiye sahiptir, ama daha erken zamanlarda yaklaşık 10^{88} değerindeydi ve ileride 10^{120} dolaylarına kadar da yükselebilir. Yani erken evrenin şimdikinden çok daha az bir entropisi vardı. Neden? Evrenin durumu tüm olası durumlar arasından rastgele seçildiyse, bu kadar düşük entropili bir kurulumda olması olağanüstü düşük bir olasılıktır, bu yüzden açıkça araya giren başka bir şeyler vardır.

Şişme bu başka şeyleri açıklamayı amaçlar. Çılgınca dalgalanan başlangıç koşullarından –ki bunlar, örtülü olarak ya da açıkça, bazen yanıltıcı olarak, "yüksek entropili" olarak betimlenir– küçük bir parça doğal olarak bizim evrenimize benzeyen 10^{88} entropiye sahip bir bölgeye evrilebilir. Bu kitabı izleyince, hepimiz biliyoruz ki gerçekten yüksek entropili bir kurulum çılgınca dalgalanan yüksek enerjili bir kargaşa değildir; tam tersidir, yani geniş ve sakin boş uzay. Şişmenin başlaması için gerekli koşullar, tam da geleneksel Büyük Patlama öyküsünde olduğu gibi, hiç de şapkadan rastgele çıkartacaklarımız gibi değildir.

Doğrusu, daha da kötüdürler. Şişmenin başladığı, süper-kara enerjinin egemenliğindeki minik uzay parçasına odaklanalım. Entropisi nedir? Bu, kütleçekimin varlığında, özellikle de şişmeyle ilişkili yüksek enerjili rejimlerde entropi üzerine yeterli bilgiye sahip olamadığımız yolundaki standart nedenle yanıtlaması zor bir sorudur. Ama mantıklı bir tahminde bulunabiliriz. Geçen bölümde genişleyen evrenin verili bir bölgesine "sığabilecek," en azından (şişmenin varsaydığı) kuantum alan kuramının olağan kabulleri tarafından betimleniyorlarsa, neden yalnızca belli sayıda olası durum olduğunu tartışmıştık. Durumlar titreşen kuantum alanları gibi görünür ve titreşimler ele aldığımız bölgenin boyundan daha küçük ve Planck uzunluğundan daha büyük dalga boylarına sahip olmalıdır. Bu da şişmeye hazır küçük parçaya benzeyebilecek azami bir olası durum sayısı olduğu anlamına gelir.

Sayısal yanıt şişmenin gerçekleştiği yola, özellikle de şişme sırasındaki vakum enerjisine bağlıdır. Ama bir model ile diğeri arasındaki farklar çok da belirleyici değildir, bu yüzden bir örnek seçip ona bağlı kalmak yeterli olur. Diyelim ki şişme sırasında enerji ölçeği Planck ölçeğinin yüzde biridir; hayli yüksek, ama kuantum kütleçekimin yol açacağı karmaşıklıklardan güvenli bir şekilde kaçınabileceğimiz kadar düşük. Bu durumda, birlikte hareket eden parçamızın şişmenin başlangıcındaki tahmini entropisi şöyle olur:

$$S_{\text{şişme}} \approx 10^{12}.$$

Bu, sahip olabileceği 10^{120} ya da hatta yakında sahip olacağı 10^{88} değeriyle karşılaştırıldığında, inanılmaz düşük bir değerdir. Şişmenin başlayabilmesi için halihazırdaki evrenimizi açıklamaya yarayan her özgürlük derecesinin aşırı pürüzsüz, küçük bir uzay parçasına incelikle yerleştirilmiş olduğu olgusunu yansıtır.

Şişmenin sırrı burada ortaya çıkar: gözlemlenebilir evrenimizin neden böylesi görünürde düşük entropili, ince ayarlı durumda olduğunu, öncesinde *daha da düşük entropili* bir durumdan başladığını kabul ederek, açıklar. İkinci Yasaya inanır ve entropinin zamanla yükselmesini beklersek, bu hiç de şaşırtıcı olmaz, ama gerçek konuya girmiyor gibidir. Görünüşe bakıp değerlendirirsek, birlikte hareket eden parçamızın şişmeyi başlatmak için gerekli türden düşük entropili kurulumda bulmamız gerçekten de çok şaşırtıcı gibidir. Bir ince ayar sorununu, daha da ince ayar durumuna başvurarak çözemezsiniz.

BİRLİKTE HAREKET EDEN PARÇAMIZA YENİ BİR ZİYARET

Bu konuyu düşünelim, çünkü burada gelenekten ayrılıyoruz ve bu da dikkatli olmamızı gerektiriyor.

Gözlemlenebilir evrenin evrimi üzerine iki can alıcı kabulde bulunuyoruz – birlikte hareket eden uzay parçamız ve içindeki bütün malzeme. Birincisi gözlemlenebilir evrenimizin özü itibariyle *özerk* olduğunu kabul ediyoruz – yani kapalı bir sistemde, dış etkilerden özgür evrildiğini. Şişme bu kabulü çiğnemez; şişme bir kez başladığında, birlikte hareket eden parçamız hızla

pürüzsüz bir kuruluma döner ve bu kurulum evrenin geri kalanından bağımsız bir biçimde evrilir. Bu kabul barizdir ki şişme öncesi bozulabilir ve başlangıç koşullarının oluşmasında bir rol oynayabilir; ama bizatihi şişme şu anda görmekte olduklarımızın açıklanmasına çalışılırken herhangi farazi dış etkilerden yararlanmaz.

Diğer kabul gözlemlenebilir evrenimizin dinamiklerinin *tersinir* olduğudur – bilgi korunur. Bu görünüşte masum nokta büyük şeyler ima eder. Kesinlikle belirlenmiş bir durum uzayı vardır – özellikle erken zamanlarda, geç zamanlarda olanla aynıdır ve bu uzay içindeki evrimi (aynı süre zarfında) farklı bitiş durumları için farklı başlangıç durumları takınır. Erken evren geç evrenden çok farklı görünür – daha küçüktür, daha yoğundur, daha hızlı genişler vs ama (tersinir dinamikler kabullerimiz içinde) bu durum uzayının değiştiği değil, evrenin içinde bulunduğu o belli durum türünün değiştiği anlamına gelir.

Israr etmek gerekirse, erken evren geç evrenle aynı fiziksel sistemdir, yalnızca çok farklı bir kurulumdadır. Ve bu sistemin herhangi bir verili mikro-durumunun entropisi, makroskobik bir bakış açısından başka kaç mikro-durumun aynı gözüktüğünü yansıtır. Gözlemlenebilir evren diye adlandırdığımız fiziksel sistemin kurulumunu rastgele seçersek, ezici bir olasılıkla yüksek entropili bir durum olacaktır – yani boş uzaya yakın.[16]

Ama dürüst olmak gerekirse insanlar, meslekten kozmologlar bile böyle düşünmeye eğilimli değildirler. Erken evrenin küçük, yoğun bir yer olduğunu düşünmeye eğilimliyizdir, bu yüzden hangi durumlarda olabileceğini tasavvur ederken, dikkatimizi yeterince pürüzsüz ve iyi huylu olan küçük, yoğun kurulumlara yöneltiriz ki, kuantum alan kuramı uygulanabilsin. Ama bunu yapmak için, en azından dinamiklerin içinde, kesinlikle hiçbir neden yoktur. Erken evrenin içinde bulunabileceği olası durumların hangileri olduğunu tasavvur ederken, kuantum alan kuramının

[16] Bu evrenin bir kurulumunu olası tüm izin verilen durumlar arasından seçmenin bize buyurulmuş bir şey olduğu ya da olup bitenin bu olduğuna inanmak için bir neden bulunduğu anlamına gelmez. Daha doğrusu, evrenin durumu açıkça rastgele seçilmiş değilse, nasıl seçilmiş olduğunu belirleyen bir şeylerin olması gerektiği anlamındadır; bu evrenin nasıl çalıştığını anlamamıza yardımcı olacak bir ipucudur.

geçerlilik sınırlarının dışında bulunan bilinmeyen durumları da işin içine katmak zorundayız. Doğrusu, halihazırdaki evrenin olası tüm durumlarını da işin içine katmalıyız, çünkü onlar sadece aynı sistemin farklı kurulumlarıdır.

Evrenin büyüklüğü korunmaz – başka bir şeye evrilir. Bir kutudaki gaz moleküllerinin istatistiksel mekaniğini düşünürsek, moleküllerin sayısını sabit tutmanın bir sakıncası yoktur, çünkü bu altta yatan dinamiğin gerçekliklerini yansıtır. Ama bir kütleçekim kuramında, "evrenin büyüklüğü" sabit değildir. Bu yüzden –yine söylüyorum, bu yasaların dışında yeni ilkelere başvurmadan yalnızca bilinen fizik yasalarına dayanarak– başlangıçtan erken evrenin küçük ve yoğun olması gerektiğini kabul etmenin bir anlamı yoktur. Bu açıklamamız gereken bir şeydir.

Bunların tümü, şişen evren senaryosu için öne sürdüğümüz geleneksel doğrulama için bir şekilde sorunludur. Önceki öyküye göre, erken evrenin neye benzediğini bilmediğimizi kabul ediyoruz, ama çılgınca dalgalanmalarla belirlendiğini tasavvur ediyoruz. (Halihazırdaki evren şüphesiz ki böylesi dalgalanmalar tarafından belirlenmiyor, yani şimdiden açıklanacak bir şeyler var.) Bu dalgalanmalar arasında, arada bir süper-kara enerjinin egemenliğinde bir bölge ortaya çıkıyor ve ardından geleneksel şişme öyküsü geliyor. Ne de olsa, rastgele dalgalanmalarla şişmeyi başlatacak doğru koşullara varmak ne kadar zor olabilir ki?

Yanıt, inanılmaz zor olduğudur. Bu bölge içinde gerekli özgürlük düzeyi için bir kurulumu gerçekten rastgele seçeceksek, ezici bir olasılıkla yüksek entropili bir durum elde ederiz: geniş, boş uzay.[17] Doğrusu, sadece entropileri kıyaslayarak, şişmeye hazır bir

[17] "Yüksek entropili durum" için başka bir adayın daha bulunduğunu söyleyerek buna itiraz edebilirsiniz – çökmeye bırakırsak (ya da aynı şekilde, evrenin halihazırdaki makro-durumuyla uyumlu tipik bir mikro-durumla yola çıkar ve saati tersine işletirsek) evrenimizin evrileceği kaotik kargaşa. Böylesi bir durumun, çöküş süreci sırasında tekillikler ve kara delikler oluşacağından, halihazırdaki evrenden çok daha öbekli olduğu doğrudur. Ama mesele tam da budur; tüm var olan evreni çok küçük bir bölgeye sıkıştıran durumlar arasında bile inanılmaz küçük bir bölümü şişmenin gerektirdiği süper-kara enerjinin egemenliğindeki düzgün parça biçimini alır. Böylesi durumların çoğu, tersine, kuantum alan kuramının işlemediği bir rejimdedir, çünkü bunları betimlemek için kuantum kütleçekimi mutlaka şarttır. Ama "böylesi durumları nasıl betimleyeceğimizi bilmiyoruz" ifadesi, "böylesi durumlar yoktur" ya da hatta "evrenin olası başlangıç durumlarını sıralarken böylesi durumları

parça elde edeceğimize, yüz milyar galaksi ve başka her şeyle birlikte halihazırdaki evrenimizi elde etme olasılığı daha yüksektir. Ve bu özgürlük derecesindeki kurulumları rastgele seçmiyorsak, peki o zaman ne yapıyoruz? Bu geleneksel şişme kuramının kapsamı dışındadır.

Bu sorunlar şişme fikrine özgü değildir. Erken evrenimizin görünürdeki ince ayarına dinamik bir açıklama sağlama iddiasında bulunup aynı zamanda da iki kabulümüzle (birlikte hareket eden parçamız kapalı bir sistemdir ve dinamikleri tersinirdir) uyumlu kalacak olası tüm senaryolara bulaşacaktır. Sorun şu ki, erken evrenin entropisi düşüktür ve bu da evrenin böyle görünmesi için görece az sayıda olasılık olduğu anlamına gelir. Ve bir yandan bilgi korunurken, diğer yandan çok büyük sayıda durumları alıp onları daha az sayıda duruma evriltecek olası bir dinamik mekanizma yoktur. Olsaydı, İkinci Yasayı çiğnemek kolay olurdu.

SAHNEYİ HAZIRLAMAK

Bu tartışma şişen evren senaryosunun dolabındaki gizli iskeletleri bilinçli bir şekilde öne çıkarttı – onun lehine savları öne çıkartan birçok başka kitap vardır.[18] Ama açık olalım: sorun şişmeyle ilgili değildir; kuramın genelde nasıl pazarlandığıyla ilgilidir. Sıklıkla, şişme hayli genel koşullar altında başlayacağı ve bir kez başladığında, bütün sorunlarımız çözüleceği için, şişmenin bir başlangıç koşulları kuramına olan acil ihtiyacı ortadan kaldırdığını duyarız.

Gerçek bunun tam tersidir: şişmenin birçok artısı vardır, ama bir başlangıç koşulları kuramını daha da acil bir hale getirir. Umuyorum ki ne şişme ne de başka bir mekanizmanın, kendi başına, tersinirlik ve özgül evrim kabulleri altında düşük entropili erken evrenimizi açıklayamadığını ortaya koyabilmişimdir. Kuşkusuz, tersinirliğin aradan çıkması gereken bir şey olması mümkündür; belki de fiziğin temel yasaları tersinirliği temel düzeyde çiğniyordur. Her ne kadar bu entelektüel açıdan mümkünse de böylesi bir fikri dünyada fiilen gördüklerimizle uzlaştırmanın zor olduğunu öne süreceğim.

---

yok sayabiliriz," ifadesinden çok farklıdır. Dinamikler tersinirse, bu durumları çok ciddiye almaktan başka çaremiz yoktur.

Örneğin Guth (1997).

Daha az köklü bir strateji, özgül evrim kabulünü aşmaktır. Baştan beri, birlikte hareket eden parçamızı kapalı bir sistem gibi ele almanın en iyi koşullarda bir yaklaştırım olduğunu biliyorduk. Şu anda, hatta evrenin tarihindeki, üzerinde deneysel verilere sahip olduğumuz herhangi bir dönem için aşırı iyi bir yaklaştırım gibi görünüyor. Ama kuşkusuz en başta bozuluyor. Şişme gördüğümüz evrenin açıklanmasında can alıcı bir rol oynuyor olabilir, ama yalnızca "rastgele dalgalanmayla içine girdik" fikrini bir kenara atıp, şişme için gerekli koşulların neden gerçekleştiğine dair belli bir neden bulabilirsek.

Diğer bir deyişle, içinde bulunduğumuz çıkmazdan kurtulmanın en açık yolu, doğal olmayan erken evreni tamamen birlikte hareket eden parçamızın özgül evrimiyle açıklamaya çalışma hedefinden vazgeçip yerine gözlemlenebilir evrenimizi daha büyük bir resmin içine sokmaya çalışmaktır. Bu da bizi çoklu evren fikrine geri götürür – gözlemlediğimiz evrenin sadece minik bir parçası olduğu daha büyük bir yapı. Böyle bir şey doğruysa, en azından çoklu evrenin evriminin doğal olarak şişmenin başlayabileceği koşullara yol açtığı fikrini düşünmeye başlayabiliriz; bundan sonra, öykü yukarıdaki gibi devam eder.

Yani gözlemlenebilir evrenimizi oluşturan fiziksel sistemin değil, bir çoklu evrenin neye benzemesi gerektiğini ve bunun doğal olarak gördüğümüz evrene benzeyen bölgeleri doğurup doğurmayacağını sormak istiyoruz. İdeal koşullarda, bunun yol boyunca zaman asimetrisini elden işin içine katmadan gerçekleşmesini isteriz. Yalnızca şişmenin başlamasını sağlayacak doğru koşulları nasıl elde edeceğimizi değil, bir ucunda bu koşullara, diğer ucunda da boş uzaya sahip büyük bir uzay-zaman bölümünün (gözlemlenebilir evrenimiz) ortaya çıkmasının neden doğal olabileceğini de açıklamak isteriz. Her ne kadar bazı fikirlerimiz olsa da bu tamamlanmış olmaktan uzak bir programdır. Şimdi artık spekülatif arazinin derinliklerine dalmış bulunuyoruz, ama aklımızı başımızda tutarsak, ejderhalara yem olmadan güvenli bir yolculuk yapabiliriz.

15
YARINDAN GEÇMİŞE

Bu sonsuz boşlukların ebedi sessizliği beni dehşete düşürüyor.
—Blaise Pascal, *Pensées*[1]

Bu kitap boyunca, Termodinamiğin İkinci Yasası dahilinde zaman okunun anlamını, kozmoloji ve evrenin kökeniyle olan ilişkisini araştırdık. Nihayet bütün bunları bir araya getirip soruyu son bir kez soracak kadar malzeme biriktirdik: Gözlemlenebilir evrenimizin entropisi erken zamanlarda neden o kadar düşüktü? (Ya da en baştan asimetrik dilin tuzağına düşmemek için daha iyisi: neden aşırı düşük entropili bir durumun zamansal yakınlarında yaşıyoruz?)

Soruyu soracağız, ama yanıtı bilmiyoruz. Fikirler var ve bazı fikirler de diğerlerine kıyasla daha çok umut vaat ediyor, ama hepsi de bir şekilde müphem ve kesinlikle henüz son parçaları bir araya getirmiş değiliz. İşte size bilim. Doğrusu, bu bilimin heyecan verici yanı – bazı ipuçlarını ve umut vaat eden fikirleri bir araya getirdiğiniz, ama hâlâ nihai yanıtı yakalama süreci içinde bulunduğunuz zaman. Umut ediyorum ki bu bölümde taslağı çizilen olasılıklar kozmologların bundan sonra bu derin konuları yanıtlama çabaları sırasında onlara yararlı bir rehber görevi görecektir.[2]

Tekrarcı olma riskini göze alarak, açmazımızı bir kez daha yineleyelim ki, soruna kabul edilebilir bir çözümün ne olabileceğini belirtmiş olalım.

---

[1] Pascal (1995), 66.

[2] Daha da iyisi, genç birisinin bu kitabı okuyup, bunun dikkat vermeye değer ciddi bir sorun olduğuna ikna olması ve çözmeye girişmesi olur. Ya da yaşlı birisi, bunun önemi yok. Her koşulda, zaman oku için fizik topluluğunda genel kabul görecek bir açıklama bulursanız, bu kitabın bu konuda size yardımcı olup olmadığını bana bildirin.

Zaman okunun makroskobik tezahürlerinin hepsi –yumurtaları omlete dönüştürme becerimiz ama tersini yapamamamız, süt ile kahvenin karışma ama kendiliğinden ayrışmama eğilimi, geçmişi anımsamamız ama geleceği anımsayamamamız– Termodinamiğin İkinci Yasası uyarınca entropinin yükselme eğilimine bağlanabilir. 1870'lerde Boltzmann İkinci Yasanın mikroskobik desteklerini açıklamıştı: Entropi her makro-duruma karşılık gelen mikro-durumların sayısını belirler, böylece (herhangi bir nedenle) görece düşük entropili bir durumda başlarsak, entropinin geleceğe doğru yükselmesi ezici oranda yüksek bir olasılıktır. Ama fizik yasalarının temel tersinirlikleri nedeniyle, elimizdeki tek veri halihazırdaki durumun düşük entropili olmasıysa, entropinin geçmişte daha yüksek olmuş olmasını da aynı meşruiyetle bekleyebiliriz. Gerçek dünya öyle işlemiyor gibidir, bu yüzden başka şeylere de gerek duyarız. Bu başka şey de Geçmiş Varsayımıdır: çok erken evrenin kendini aşırı düşük entropili bir durumda bulduğu ve şu anda onun yüksek entropili bir duruma gevşemesine tanıklık ediyor olduğumuz. Geçmiş Varsayımının neden doğru olduğu sorusu kozmolojinin alanına girer. Antropik ilke bu iş için acıklı ölçüde yetersizdir, çünkü kendimizi kolaylıkla, diğer yerleri boş bir de Sitter uzayında rastgele dalgalanmalardan (Boltzmann beyinleri) oluşmuş olarak da bulabiliriz. Benzer şekilde, şişme de kendi başına soruya yanıt vermez, çünkü geleneksel Büyük Patlama kozmolojisine göre daha da düşük entropili bir başlangıç noktası gerektirir. Bu yüzden soru hâlâ ortadadır: Geçmiş Varsayımı gözlemlenebilir evren parçamızda neden doğrudur?

Bakalım bir ilerleme sağlayabilecek miyiz?

DURUM UZAYINI EVRİLTMEK

En bariz varsayımla başlayın: Derinlerde, fiziğin temel yasaları tersinir değildir. Kitap boyunca bu olasılığın varlığına atıfta bulunma konusunda dikkatli olmaya çalıştım, ama hep bunun uzak bir olasılık olduğu ya da ciddi bir dikkat sarf edilmeye değmediği doğrultusunda konuştum. Bunun için sağlam gerekçeler var, ama sarsılmaz da değiller.

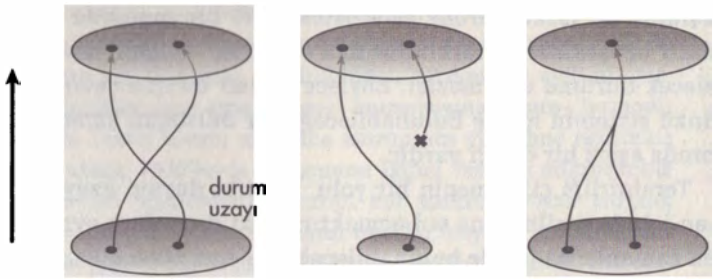
Tersinir bir sistem bir seferde ve kesinlikle belirlenmiş bir durum uzayına sahiptir ve bu durumların zamanda evrilmesinin bilginin korunduğu bir kuralı vardır. Aynı başlangıç zamanında

başlayan iki farklı durum, gelecekteki belli bir zamanda öngörülebilir bir şekilde iki farklı duruma evrilirler – hiçbir zaman aynı gelecek duruma evrilmezler. Böylece evrimi tersine çevirebiliriz, çünkü sistemin içinde bulunabileceği her durumun zamanın her anında eşsiz bir önceli vardır.

Tersinirliği çiğnemenin bir yolu, bizatihi durum uzayının zaman içinde evrilmesine yol açmaktır. Belki de sadece evrenin erken zamanlarda içinde bulunabileceği daha az olası durum vardı, o zaman düşük entropi şaşırtıcı olmaz. Bu durumda, halihazırdaki evren olarak aynı makro-durumda bulunan birçok olası mikro-durumun içinden çıkmış olabileceği olası geçmiş durum yoktur.

Doğrusu, birçok kozmolog genişleyen evrende neler olduğundan söz ederken örtülü olarak bunu söylemektedir. Kendimizi "pürüzsüz bir ardalanın çevresindeki tatlı kuantum alanı dalgalanmalarına benzeyen durumlarla" kısıtlarsak, uzayın kendisinin de ("uzayın" eski usul üç boyutlu anlamında) daha büyüdüğüne göre, durum uzayının bu belli parçasının da zaman içinde büyüdüğü doğrudur. Ama bu *tüm* durum uzayının zaman içinde fiilen değiştiğini tasavvur etmekten çok farklıdır. Oturup bunun gerçekten ne anlama geldiğini düşünürlerse, neredeyse hiç kimse böylesi bir konumu destekleme iddiasında bulunmaz. Erken evrenin ince ayar yapıldığını öne sürerken, bu olasılığı açıkça reddetmiştim – içinde bulunabileceği tüm durumlar arasında, bugünkü evrene benzeyen durumların yanında, daha da yüksek entropiye sahip olasılıkları da işin içine katmıştık.

Durum uzayının zaman içinde değişmesi fikrinin en garip özelliği, bir *dış* zaman parametresine gerek duyuyor olmasıdır: fiili evrenin dışında yaşayan ve evrenin içinde evrildiği bir "zaman" kavramı. Normalde, zamanı evrenin bir parçası olarak düşünürüz – uzay-zaman üzerinde, tekrarladığı öngörülen çeşitli saat türleri tarafından ölçülen bir koordinat. "Saat kaç?" sorusu, evrende olup bitene atıfla yanıtlanır – yani evrenin o anda içinde olduğu durumun özelliklerine. ("akrep üçte, yelkovan da on ikide.") Ama durum uzayı zamanda değişiyorsa, bu anlayış yetersiz kalır. Herhangi bir anda, evren belli bir durumdadır. "Evren, X durumunda olduğuna göre, Y durumunda durum uzayı daha küçüktür," demenin bir anlamı yoktur. Durum uzayı, tanımı gereği, evrenin varsayımsal olarak içinde olabileceği tüm durumları içerir.



Şekil 81: Solda, tersinir fizik yasaları var. Sistem belli bir durum uzayı içinde evrilir, öyle ki, farklı başlangıç durumları eşsiz şekilde farklı nihai durumlara evrilirler. Ortadaki örnek tersinmezdir, çünkü durum uzayı bir dış zaman parametresine göre büyür; sonraki zamanlardaki kimi durumların kökeni olabilecek öncelleri yoktur. Sağda başka bir tersinmezlik biçimi vardır, burada durum uzayı sabit kalır, ama farklı başlangıç durumları aynı nihai duruma evrilirler.

Yani durum uzayının zaman içinde değişmesi için yalnızca evrenin durumu tarafından ölçülmeyen, geleneksel biçimde anladığımız haliyle evrenin dışında da var olan bir zaman mefhumu kabul etmemiz gerekir. O zaman, "bu dış zaman parametresi belli bir değere eşit olduğunda, evrenin durum uzayı görece küçüktü ve belli başka bir değere ilerlediğinde, durum uzayı büyüdü," demenin bir anlamı olur.

Bu fikir üzerine söylenecek pek bir şey yoktur. Mümkündür, ama çok az insan zaman oku sorununa bir çözüm olarak bunu destekler.[3] Şu anda fizik yasalarını nasıl anladığımızın dramatik ölçüde yeniden düşünülmesini gerektirir; halihazırdaki çerçevemizin üzerine hiçbir şey evrenin dışında dolanan bir zaman parametresinin varlığını akla getirmez. Bu yüzden şimdilik bunu bir kenara atamayız, ama bizde sıcak bir ilgi uyandırmaz.

TERSİNMEZ HAREKETLER

Aslen tersinmez fizik yasaları icat etmenin başka bir yolu da belli bir durum uzayına kesin bağlı kalmak ama bilgiyi korumayan di-

[3] Bu doğrultuya belki de en yakın olanı, Tom Banks ve Willy Fisher tarafından önerilen "Holografik Kozmoloji" senaryosudur (2005; aynı zamanda, Banks, 2007). Kuantum kütleçekimin etkin dinamik yasalarının farklı uzay-zamanlarda çok farklı olabileceğini önerirler. Diğer bir deyişle, bizatihi fizik yasaları zamana bağlı olabilir. Bu spekülatif bir senaryodur, ama dikkate değerdir.

namik yasalar varsaymaktır. Yedinci Bölümde dama tahtası D ile gördüğümüz buydu; çapraz gri doğrular düşey doğruya geldiğinde, öylesine yok olurlar. Zamanın belli bir anında, geçmişte tam olarak hangi durumdan geldiğini bilmenin bir yolu yoktur, çünkü düşey bir sütunla karşılaşmaları öncesi ortalıkta hangi çapraz doğruların dolandığını yeniden oluşturmak mümkün değildir.

Aynı fikrin biraz daha gerçekçi bir sürümünü bulmak zor değildir. Sekizinci Bölümde tersinmez bir bilardo oyunu ele almıştık: geleneksel bir bilardo masası, toplar sürtünmeyle hiçbir enerji kaybetmeden ebediyen hareket ediyorlar, sadece toplar masadaki belli bir banda çarptığında kesin bir şekilde duruyor ve ebediyen orada kalıyor. Bu sistemin durum uzayı hiç değişmez; her zaman masadaki topların olası tüm konumları ve momentumlarından oluşur. Entropi tamamen geleneksel yoldan hesaplanır, belli makroskobik özellikleri olan durumların sayısının logaritması olarak. Ama dinamikler tersinmezdir: toplardan herhangi biri özel duvara çarpmışsa, kaç zamandır orada bulunduğunu bilemeyiz. Ve bu sistemin entropisi İkinci Yasayı fütursuzca çiğner; kademeli olarak, daha çok top yapıştıkça, sistem durum uzayının giderek daha az bir bölümünü alır ve entropi dış dünyadan herhangi bir müdahale olmaksızın düşer.

Fizik yasaları, bildiğimiz kadarıyla –kuantum mekaniğinde dalga fonksiyonlarının çökmesi konusundaki önemli soru dışında– tersinir görünür. Ama nihai fizik yasalarını bilmiyoruz; elimizdekiler yalnızca iyi yaklaştırımlardır. Gerçek fizik yasalarının temelde tersinmez olduğu ve bunun zaman okunu açıkladığı düşünülebilir mi?

Öncelikle bunun gerçekte ne anlama gelebileceği konusunda bir yanlış anlaşılmayı çözelim. Zaman okunu "açıklamak," bir fizik yasaları kümesi ve evrenin bir "başlangıç" durumunu bulmak anlamına gelir, öyle ki, zaman içinde çevremizde tanık olduğumuza benzer bir entropi değişmesine doğal bir şekilde (ince ayar olmadan) tanık olalım. Özellikle, sadece başlangıç koşullarının düşük entropiye sahip olduğunu kabul edersek, açıklanacak bir şey kalmaz – entropi, Boltzmann'ın önerdiği doğrultuda yükselme eğiliminde olacaktır ve işimiz bitecektir. Bu durumda tersinmez fizik yasaları varsaymaya gerek kalmaz; tersinir olanlar da işimizi görür. Ama sorun, böylesi bir düşük entropili sınır değerinin doğal görünmemesidir.

Bu yüzden, zaman okunu doğal yollardan tersinmez temel yasalara başvurarak açıklamak istiyorsak, fikir bir *yüksek*-entropili koşul –evrenin "genel" durumu– öne sürmek ve fizik yasalarının, bu durumun üzerine etki ettiklerinde, doğal olarak entropisini düşürecek şekilde işlediklerini tasavvur etmektir. Bu okun gerçek bir açıklaması olur. Bu düzen tersineymiş gibi görünebilir – entropinin yükseleceğini değil, düşeceğini öngörür. Ama zaman okunun özü sadece entropinin tutarlı bir yönde değişmesidir. Bu doğru olduğu sürece, böylesi bir dünyada yaşayan gözlemciler her zaman zamanın daha düşük entropisi olan yönünü "anımsayacaktır;" benzer şekilde, neden-sonuç ilişkileri hep nedenleri işlerin düşük entropili tarafına koyacaktır, çünkü bu daha az olası seçeneğin olduğu taraftır. Diğer bir deyişle, her ne kadar bu dünyadaki temel fizik yasaları yalnızca gelecekten hareketle geçmişi hassasiyetle yeniden kuracak ve tersi geçerli olmayacak olsa da böylesi gözlemciler zamanın yüksek entropili tarafını "gelecek," düşük entropili tarafını da "geçmiş" olarak adlandıracaklardır.

Böylesi bir evren kuşkusuz düşünülebilir. Sorun şu ki, göründüğü kadarıyla bu *bizim* evrenimizden dramatik ölçüde farklı olacaktır.

Bu senaryonun işleyebilmesi için nelerin işlemesi gerektiği üzerine dikkatlice düşünün. Evren hangi nedenle olduysa, kendisini rastgele seçilmiş bir yüksek entropili durumda bulacak ve bu da boş de Sitter uzayına benzeyecektir. Şimdi bizim varsayılan tersinmez fizik yasalarımız bu durumda entropiyi düşürmeye çalışacaktır. Sonuç –tüm bunların işleme şansı olursa– bizim evrenimizin tarihi olacaktır, ancak bizim geleneksel olarak düşündüğümüzle karşılaştırıldığında, zamanda tersine çevrilmiş olarak. Diğer bir deyişle: başlangıçtaki boşluktan, bazı fotonlar bir beyaz delik yaratmak üzere mucizevi bir şekilde uzayda bir noktaya odaklanacaklardır. Bu beyaz delik ek fotonların da katılmasıyla kademeli bir şekilde kütlesini artıracaktır (tersine Hawking ışınımı). Kademeli olarak çok uzaklardan ek beyaz delikler topluluğu görünecek, neredeyse tekbiçimli bir biçimde uzayda dizileceklerdir. Tüm bu beyaz delikler evrene gaz püskürtecek, içeriye doğru patlayarak yıldızları oluşturacak, bunlar da yavaşça beyaz delikten sarmal çizerek uzaklaşıp galaksileri oluşturacaklardır. Bu yıldızlar dış dünyadan daha fazla ışınım emecek ve bu enerjiyi ağır

elementleri hafif olanlara dönüştürmekte kullanacaklardır. Galaksiler uzayın giderek hızlanan daralmasıyla birbirlerine doğru hareket etmeyi sürdürürken, yıldızlar çözülüp tekbiçimli dağılımlı bir gaza dönüşecektir. Sonunda evren bir Büyük Ezilmeyle çökecek ve zamanın sonuna doğru madde ile ışınım aşırı pürüzsüz ve tekbiçimli bir dağılım oluşturacaktır.

Bu bizim evrenimizin gerçek tarihidir, yalnızca zamanda tersine oynatılmıştır. Şu anda anladığımız durumlarıyla fizik yasalarına kusursuz bir çözümdür; tek yapmamız gereken Büyük Patlama yakınında bir durumdan başlayarak, onun da erişeceği herhangi bir yüksek entropili duruma kadar evrilmesini sağlamak sonra da bu durumu zamanda tersine çevirmektir. Ama şu anda düşündüğümüz varsayım çok farklıdır: Bu biçimde bir evrimin, boş de Sitter uzayının *neredeyse her* yüksek entropili durumu için gerçekleşeceğini söyler. Bu bir fizik yasasından çok şey istemek olur. Entropinin tersinmez yasaların sonucu olarak düşeceğini tasavvur etmek bir şeydir, ama kesinlikle doğru yoldan bizim evrenimizin zamanda tersine çevrilmiş tarihini üretecek şekilde düşeceğini tasavvur etmek tamamen farklı bir şeydir.

Bu senaryodan duyduğumuz rahatsızlığın nereden kaynaklandığı konusunda daha özgül olabiliriz. Zaman okunu deneyimlemek için bütün evreni düşünmemiz gerekmez: Mutfağımızın ortasındadır. Bir bardak ılık suyun içine bir küp buz atarız ve su serinlerken buz erir ve sonunda tekbiçimli bir sıcaklığa erişilir. Temel tersinmezlik varsayımı bunun tekbiçimli serin bir bardak sıvı suyla başlayarak derin fizik yasalarıyla açıklanabileceğini iddia eder. Diğer bir deyişle, fizik yasaları varsayıldığına göre buz küpü ve bardakla başladığımızda bekleyeceğimiz gibi, ancak zamanda tersine dönerek suyu etkilemiş ve farklı molekülleri, bir bardak suyun içinde duran bir buz küpü oluşturacak biçimde ayırmıştır.

Ama bu çılgınlık. Bir kere: Nereden biliyor? Bazı serin su dolu bardaklar, beş dakika önce, içinde buz küpleri bulunan ılık su bardaklarıydı, ama başkaları da beş dakika önce bile sadece serin su dolu bardaklardı. Her ne kadar her düşük entropili makro-duruma karşılık gelen görece az sayıda mikro-durum varsa da yüksek entropili olanlara göre çok daha fazla bireysel düşük entropili makro-durum var. (Daha formel olarak, her düşük enerjili durum yüksek entropili olana göre daha fazla bilgi içerir.)

Sorun Dokuzuncu Bölümün sonunda sözünü ettiğim karmaşıklık sorunuyla yakından ilişkilidir. Gerçek dünyada, evren düşük entropili Büyük Patlamadan yüksek entropili geleceğe doğru evrilirken, yol boyunca narin karmaşık yapılar yaratır. Başlangıçtaki tekbiçimli gaz evren genişlerken sadece dağılmaz; önce yıldızlar ve gezegenler durumunda çöker, bu da yerel olarak entropiyi yükseltir ve yol boyunca girift ekosistemler ve bilgi işleyen altsistemler besler.

Tüm bunların başlangıçta yüksek entropili, kimi tersinmez fizik yasalarına göre evrilen bir durumdan kaynaklandığını tasavvur etmek zor, hatta neredeyse olanaksızdır. Bu kusursuz bir sav değildir, ama gerçek dünyada zaman okunun açıklaması için başka bir yere bakmamızın gerekli olacağı muhtemel görünüyor.

ÖZEL BİR BAŞLANGIÇ

Buradan başlayarak, temel fizik yasalarının gerçekten tersinir olduğu varsayımı altında hareket edeceğiz: olası durumların uzayı sabit kalır ve zaman evriminin dinamik kuralları her durumun içerdiği bilgiyi korur. O zaman, gözlemlenebilir evrenimizin düşük entropili koşulunun açıklamasını nasıl yapmayı umut edebiliriz?

Mutlak bir Newton uzay ve zamanı bağlamında düşünen Boltzmann için, bu zorlu bir bilmeceydi. Ama genel görelilik ve Büyük Patlama modeli yeni bir olanak sağlar: Evrenin, zaman da içinde olmak üzere bir başlangıcı vardı ve başlangıç durumu çok düşük entropili bir durumdu. Nedenini sormaya da hakkınız yok.

Bazen, "sormaya hakkınız yok," tümcesi şöyle yeniden oluşturulur: "Evrenin başlangıç durumunun çok düşük entropiye sahip olduğunu kabul eden *yeni bir doğa yasası* varsayıyoruz." Bu iki formülasyonun neden farklı olduğu pek de açık değildir. Olağan fizik yasaları anlayışımızda, fiziksel bir sistemin evrimini tamamıyla belirtmek için iki bileşen gereklidir: sistemin zaman içinde bir durumdan diğerine evrilmesini sağlayan bir dinamik yasalar kümesi ve sistemin belli bir anda hangi durumda olduğunu belirleyen bir sınır koşulu. Ama her ne kadar hem yasalar hem de sınır koşulu gerekliyse de bunlar çok farklı şeylermiş gibi görünür; sınır koşulunu "yasa" olarak düşünmekle ne kazanılacağı açık değildir. Dinamik bir yasa geçerliliğini arka arkaya gösterir;

her anda, yasa halihazırdaki durumu alır ve bir sonraki duruma evriltir. Ama sınır koşulu bir kez ve kesinlikle dayatılır; doğası, ek bir fizik yasası olmaktan ziyade evren üzerine deneysel bir olgu gibidir. "Erken evrenin düşük bir entropisi vardı" ve "erken evrenin düşük entropiye sahip olması bir fizik yasasıdır" ifadeleri arasında anlamlı herhangi bir ayrım yoktur. (Şüphesiz hepsi aynı sınır koşuluna sahip birçok evren olduğunu tasavvur etmezsek.)[4]

Öyle bile olsa, bunun söyleyebileceğimizin en fazlası olması kuşkusuz olasıdır: Erken evrenin düşük entropisi daha iyi bir dinamik fizik yasaları anlayışıyla açıklanmayacaktır, sadece kaba bir olgu ya da (öylesini tercih ederseniz) doğanın bağımsız bir yasasıdır. Bu yaklaşıma bir örnek Roger Penrose tarafından açıkça desteklenmiştir, "Weyl eğiklik varsayımı" adını verdiği bir şey önermişti – geçmişte kalan uzay-zaman tekillikleri ile gelecektekiler arasında açıkça bir ayrım gözeten yeni bir doğa yasası. Temel fikir, geçmiş tekilliklerin pürüzsüz ve özelliksiz olması gerektiği, gelecektekilerin ise rastgele karışık ve karmaşık olabilecekleridir.[5] Bu zamanda tersinme simetrisinin açık bir ihlalidir, bu da Büyük Patlamanın düşük entropili olmasını sağlar.

---

[4] Bağlantılı bir strateji de James Hartle ve Stephen Hawking (1983) tarafından önerildiği gibi evrenin dalga fonksiyonu için belli bir biçim varsaymaktır. "Öklitçi kuantum kütleçekimi" olarak bilinen bir tekniğe dayanırlar; bu yaklaşımın artılarının ve eksilerinin hakkını vermek bizi şimdiki kaygılarımızın çok uzağına götürür. Hartle-Hawking dalga fonksiyonunun evrenin Büyük Patlama yakınlarında düzgün olduğunu ima ettiği, bunun da zaman okunun açıklanmasına yardımcı olduğu önerilmiştir (Halliwell ve Hawking, 1985), ama bu sonucun türetilmesine yarayan yaklaştırımların geçerlilik sahası biraz müphemdir. Benim kuşkum, Hartle-Hawking dalga fonksiyonunun bizim boş de Sitter uzayında yaşıyor olmamız gerektiğini öngördüğüdür, tam da entropinin doğrudan bir incelenmesinin bizi beklemeye iteceği gibi.

Penrose (1979). Uzay-zaman eğikliklerinin matematiğinin derinlerine dalarsanız, iki farklı biçimde olabileceklerini görürsünüz: İtalyan matematikçi Gregorio Ricci-Curbasto'ya atfen "Ricci eğikliği" ve Alman matematikçi Hermann Weyl'e atfen "Weyl eğikliği." Ricci eğikliği uzay-zamandaki madde ve enerjiyle doğrudan bağlantılıdır – malzeme olan yerde Ricci eğikliği sıfırdan farklıdır, olmayan yerde de kaybolur. Diğer yandan, Weyl eğikliği kendiliğinden var olabilir; örneğin bir kütleçekim dalgası uzayda serbestçe yayılır ve Weyl eğikliğine yol açar, ama Ricci eğikliğine değil. Weyl eğikliği varsayımı zamanın bir yönündeki tekilliklerin kaybolan Weyl eğikliğine sahip olduklarını, diğer yöndekilerinse kısıtlanmadıklarını ifade eder. Betimleyici *başlangıç* ve *nihai* sıfatlarını olgudan sonra atamalıydık, çünkü düşük Weyl eğikliğinin daha düşük entropisi olacaktı.

Böylesi bir önerinin gerçek sorunu, özünde amaca özel doğada olmasıdır.[6] Geçmiş tekilliklerin çok pürüzsüz olmalarının gerektiğini ileri sürmek evren üzerine başka bir şey anlamanızı sağlamaz. Zaman asimetrisini el yordamıyla "açıklar." Yine de bunu daha temel bir anlayışın işaretleyicisi olarak düşünebilirsiniz: başlangıçtaki ve nihai tekillikler arasında temel bir ayrıma bizi götürecek, öncekilerin eğikliklerinin sınırlandığı ama sonrakilerinkiler böyle olmadığı gibi kimi daha derindeki ilkeler ortaya çıkartılacaksa, kuşkusuz zaman okunun kökenini anlama yolunda önemli gelişmeler kaydetmiş oluruz. Ama bu formülasyon bile gerçek gündemin daha derinlerde bir şeyler aramak olduğunu akla getirmektedir.

SİMETRİK BİR EVREN

Fiziğin temel yasaları tersinirse ve kendi kendimize zamanda asimetrik sınır koşulları dayatmazsak, geriye kalan olasılık, her ne kadar belirtiler bunun tersini gösterse de evrenin evriminin zamanda simetrik olduğudur. Evrenin eninde sonunda genişlemesine son verip yeniden çökmesi olasılığına açık olursak, bunun nasıl olabileceğini tasavvur etmek zor değildir. Kara enerjinin bulunması öncesinde, birçok kozmolog yeniden çöken evreni felsefi açıdan çekici buluyordu: Einstein, Wheeler ve başkaları için hem zaman hem de uzayda sonlu bir evren mefhumu çekici geliyordu. Gelecekteki bir Büyük Ezilme evrenin Büyük Patlamayla başlayan tarihine hoş bir simetri sağlardı.

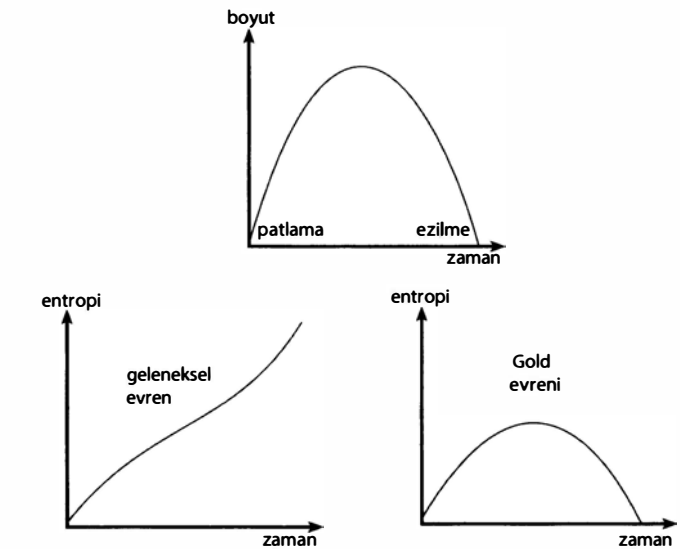
Ama geleneksel resimde, böylesi bir simetri İkinci Yasa tarafından dramatik biçimde engelleniyordu. Evrenin entropisinin evrimi üzerine bildiğimiz hemen hemen her şey, başlangıç yakınlarında entropinin çok düşük olduğu kabul edilince kolayca açıklanabilir; oradan, zaman içinde doğal bir şekilde artar. Evren yeniden çökecekse, bilinen fizik yasalarında entropinin yükselmesini durduracak hiçbir şey yoktur. Büyük Ezilme, Büyük Patlamanın saf pürüzsüzlüğünün aksine kargaşalı, yüksek entropili bir şey olacaktır.

---

[6] Başka bir sorun da evrenin gelecekte ebedi bir de Sitter evresine girmesi durumunda, görünürdeki Boltzmann beyinleri tehlikesidir. Aynı zamanda, klasik genel görelilikten bir "tekillik" kavramı muhtemelen bir kuantum kütleçekim kuramında yaşayamayacaktır. Weyl eğiklik varsayımının daha gerçekçi bir sürümü kuantum-kütleçekim dilinde telaffuz edilmelidir.

Evrenin tarihinin toplamdaki simetrisini yeniden sağlama çabası içinde, insanlar ara sıra ek bir fizik yasası ihtiyacını düşünmüşlerdir: Patlama olduğu kadar Ezilmenin yakınlarında da entropinin düşük olmasını güvence altına alacak *gelecekteki* bir sınır koşulu (Geçmiş Varsayımına ek olarak bir "Gelecek Varsayımı"). Thomas Gold (daha çok Kararlı Durum modelinin öncüsü olarak bilinir) ve başkaları tarafından önerilen bu fikir, evren azami büyüklüğüne eriştiğinde zaman okunun tersine döneceğini ve entropinin zamanın evrenin genişlediği istikametteki yönüne doğru artmasının hep doğru olacağını öne sürüyordu.[7]

Gold evreni kozmologlar arasında hiçbir zaman tam olarak tutunamadı, bunun basit bir nedeni vardı: Herhangi bir şekilde gelecekteki bir sınır koşulu olması için iyi bir neden yoktur. Doğru, zamanın toplam simetrisini düzeltir, ama evrende deneyimlediğimiz hiçbir şey böyle bir koşula gerek duymaz ve altta yatan ilkelerin hiçbirinden de böyle bir sonuç çıkartılamaz.



Şekil 82: Üstte, zaman içinde yeniden çöken bir evrenin büyüklüğü. Geleneksel bilgiler ışığında, altta solda görüldüğü gibi evren çökse bile entropinin yükselmesini bekleriz. Gold evreninde entropi, düşük entropili bir gelecek sınır koşulu tarafından durdurulur.

[7] Gold (1962).

Diğer yandan – bir *geçmiş* sınır koşulu olması için de şu anda gördüğümüz evreni açıklamak amacıyla böyle bir şeye gerek duymamız gibi bir inatçı olgu dışında iyi bir neden yoktur.[8] Huw Price tam da bu gerekçeyle Gold evrenini kozmologların –gerçek dünya için bir model olmasa bile en azından düşünce deneyi düzeyinde– ciddiye almaları gereken bir şey olarak destekledi.[9] Büyük Patlama yakınlarında entropinin neden düşük olduğunu bilmiyoruz, ama öyleydi; dolayısıyla bir Büyük Ezilme yakınlarında entropinin neden düşük olduğunu bilmiyor olmamız, bunu bir olasılık olarak bir kenara atmamız için yeterli değildir. Gerçekten de zaman asimetrisini elden işin içine sokmadan, Patlamada düşük entropiye yol açan bilinmeyen fizik ilkesinin aynı şeyi Ezilmede de yapacağını düşünmek mantıklıdır.

Bu senaryoya gerçek bilim insanları gibi yaklaşmak ve düşük entropili bir gelecek koşulunun herhangi bir sınanabilir sonucu olup olmayacağını sormak ilginç olur. Böyle bir koşul varsa bile sadece Büyük Ezilmeyi gelecekte çok uzağa yerleştirerek herhangi bir olası sonuçtan kaçınmak kolay olur. Ama bu zamanda görece yakınsa (diyelim ki bir gugol yıl değil de bir trilyon yıl sonra), entropinin gelecekteki düşüşünün etkilerini *görebiliriz*.[10]

Örneğin gelecekteki çökme evresinde yaşayan parlak bir ışık kaynağı (kolaylık olsun diye bunu "yıldız" olarak adlandıracağız) olduğunu tasavvur edin. Bunu nasıl saptayabiliriz? Olağan bir yıldızı saptamamız, yıldızdan radyal olarak dışarıya doğru ışık konilerinde yolculuk eden fotonlar yayması sayesinde olur; yayma olayının geleceğinde fotonları özümseriz ve yıldızı gördüğümüzü

---

[8] Kısa bir süre, Stephen Hawking kuantum kozmolojisine yaklaşımının, evrenin yeniden çökmesi durumunda zaman okunun gerçekten de tersine döneceğini öngördüğüne inandı (Hawking, 1985). Don Page onu bunun doğru olmadığına ikna etti – doğru yorumlama dalga fonksiyonunun zamanda ters yönlere bakan iki kolu olduğu yolundaydı (Page, 1985). Hawking daha sonra bunu, Einstein'ın evrenin genişlemesini öngörmek yerine kozmolojik sabiti öngörmekteki büyük gafına atıfla, kendi "büyük gafı" olarak adlandırdı (Hawking, 1988).

Price (1996).

Örneğin *bkz.* Davies ve Twamley (1993), Gell-Mann ve Hartle (1996). Zaman okunun ters dönmesine neden olmayan farklı bir gelecek sınır koşulu parçacık fiziğinde araştırılmıştır; *bkz.* Lee ve Wick (1970), Grinstein, O'Connell ve Wise (2009).

beyan ederiz. Şimdi, bunu zamanda tersine işletelim.[11] Gelecekte yıldıza *doğru* hareket eden fotonlar belirleriz; parlayacağına, yıldız evrenden ışık emer.

Bu durumda, yıldızın bulunacağı yerin karşısına bakıp yıldıza doğru ilerleyen fotonlardan birini saptayarak gelecekteki yıldızı "göreceğimizi" düşünebilirsiniz. Ama bu doğru değildir – fotonu özümsersek, hiçbir zaman yıldıza ulaşmaz. Bir gelecek sınır koşulu vardır ve bu da fotonların yıldız tarafından özümsenmesini gerektirir – yalnızca yıldızdan tarafa yol almasını değil. Aslında göreceğimiz, teleskobumuzun uzaya, gelecekteki yıldızdan tarafa ışık *yaymasıdır*.[12] Teleskop gelecekteki yıldız yönüne doğrultulmuşsa, ışık yayar; değilse, karanlık kalır. Bu daha geleneksel fikrin zaman tersinmesidir: "Teleskop geçmiş yıldıza doğrultulmuşsa, ışık görür; değilse, bir şey görmez."

Tüm bunlar çılgınca görünüyor; nedeni, gelecek sınır koşulları olan bir dünya düşünmeye alışık olmamamızdır. "Teleskop bir trilyon yıl var olmayacak bir yıldıza doğru yöneldiğinde ışık yayması gerektiğini nereden biliyor?" İşte gelecek sınır koşulları bundan söz eder; halihazırdaki makro-durumumuzdan böylesi görünürde olanaksız olayın gerçekleştiği fantastik ölçekte küçük olasılıklı mikro-durumu seçerler.[13] Derinlere inilirse, bu konuda birine alışık olup diğerine olmamamız dışında, var olan evrenimizdeki geçmiş sınır koşulları için söz konusu olandan daha garip bir şey yoktur. (Yeri gelmişken, şimdiye kadar hiç kimse gelecekteki yıldızlar üzerine deneysel bir kanıt ya da gelecek düşük entropi sınır koşulları üzerine herhangi bir kanıt bulmuş değildir. Olsaydı, muhtemelen haberiniz olurdu.)

Bu arada, Gold evreni örneği zaman okunu açıklamak için ciddi bir aday olmaktan ziyade, uyarıcı bir öykü görevi görür. Erken

---

[11] Bir kez daha, dilimiz standart dışı zaman okları için gerekli sözdağarına sahip değildir. Burada, evrenin "olağan" Büyük Patlama sonrası evresinde "zamanın yönünün" bizim tarafımızdan tanımlandığı uzlaşımını seçeceğiz; bu seçime göre, entropi çökme evresinde "geleceğe doğru" düşer. Şüphesiz ki, o evrede yaşayan organizmalar doğal olarak her şeyi ters yönde tanımlayacaktır; ama bu bizim kitabımız ve seçim de basit bir uzlaşım sorunu, bu yüzden, kuralları biz koyabiliriz.
Greg Egan kısa öyküsü "The Hundred Light-Year Diary" içinde bu senaryonun dramatik sonuçlarını işlemiştir (yeniden basımı Egan, 1997).
Krş. Dokuzuncu Bölümde sözü edilen Callender'in Fabergé yumurtaları.

evrenin neden o kadar düşük bir entropiye sahip olduğuna dair doğal bir açıklamanız olduğunu düşünüyorsanız da zaman tersinmesi simetrisinin açık bir ihlaline başvurmak istemiyorsanız, neden geç evren aynı şeye benzemesin ki? Bu düşünce deneyi Büyük Patlamanın düşük entropili kurulumunun aslında ne kadar da düşündürücü olduğunu gözler önüne serer.

Bugünlerdeki inanış ağırlıklı olarak evrenin yeniden çökmeyeceği yönündedir. Evren hızlanıyor; kara enerji mutlak şekilde sabit vakum enerjisiyse (ki bu en açık olasılıktır), hızlanma ebediyen devam edecektir. Kesin konuşacak kadar bilgimiz yok, ama yüksek olasılıkla gelecekte kesinlikle geçmişimize benzemeyecek. Bu da yine, Büyük Patlamayı çevreleyen alışılmadık koşulları çözmemiz gereken bir bilmece olarak ortaya ve öne çıkartıyor.

BÜYÜK PATLAMA ÖNCESİ

Neredeyse seçeneksiz kalmış gibiyiz. Zaman asimetrisini (dinamik yasalarla ya da sınır koşullarıyla) kendimiz işin içine katmazsak ve Büyük Patlamanın düşük entropisi varsa, ama düşük entropili gelecek koşulunda ısrarcı olmazsak – geriye ne kalır ki? Mantığın mengenesine sıkışmış gibiyiz, gözlemlenebilir evrenimizdeki entropinin evrimini temel fizik yasalarının tersinirliğiyle uzlaştıracak bir çaremiz kalmamış gibidir.

Bir çıkış yolu var: Büyük Patlamanın düşük entropiye sahip olduğunu kabul eder, ama Büyük Patlamanın evrenin başlangıcı olduğunu reddederiz.

Büyük Patlama modelinin başarısı üzerine bir şeyler okumuş olan ya da başlangıçtaki bir tekilliğin varlığının genel göreliliğin sağlam bir öngörüsü olduğunu bilen herkes için bu biraz sapkınca gelebilir. Bize sıklıkla "Büyük Patlama öncesi" diye bir şey olmadığı –bizatihi zamanın (aynı zamanda da uzayın) başlangıç tekilliği öncesi var olmadığı– söyleniyor.Yani "tekillik öncesi" kavramının bir anlamının olmadığı.

Ama Üçüncü Bölümde kısaca sözünü ettiğim gibi, Büyük Patlamanın gerçekten evrenin başlangıcı olduğu fikri sadece inandırıcı bir varsayımdır, kuşku duyulmayacak gibi kabul görmüş bir sonuç değil. Genel görelilik uzay ve zamanın Büyük Patlama öncesi var olmadığını öngörmez, çok erken evrende uzay-zamanın eğikliğinin,

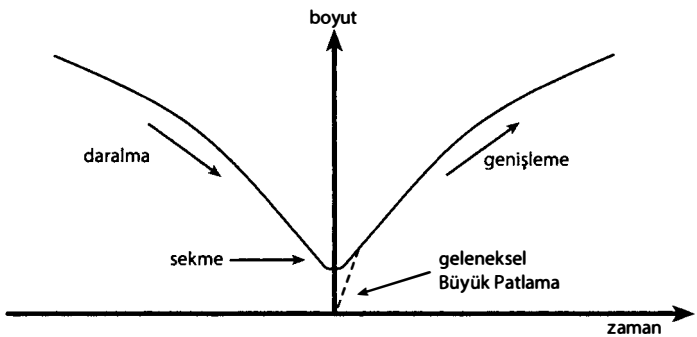
bizatihi genel göreliliğin güvenilir olmaktan çıkacağı kadar büyük hale geldiğini öngörür. Günümüz evreninin görece durgun bağlamında uzay-zamanın eğikliğinden söz ederken mutlu-mesut yok sayabileceğimiz kuantum kütleçekim, mutlaka hesaba katılmalıdır. Ve ne yazık ki, kuantum kütleçekimi, çok erken zamanlarda gerçekte ne olduğunu kesinlikle söyleyecek kadar anlayamıyoruz. Uzay ve zamanın o dönemde "varlık kazandığı" gayet doğru olabilir – ya da olmayabilir. Belki de bir kaçınılmaz olarak kuantum dalga fonksiyonu evresinden bildiğimiz ve sevdiğimiz klasik uzay-zamana bir geçiş söz konusudur. Ama uzay ve zamanın "Büyük Patlama" olarak nitelendirdiğimiz anın ötesine uzanıyor olması da düşünülebilir. Şimdi hiç bilmiyoruz; araştırmacılar, hangisinin doğru çıkacağı konusunda açık bir zihinle farklı olasılıkları inceliyorlar.

Zamanın bir başlangıcının olmasının gerekmediği konusunda kimi kanıtlar kuantum kütleçekimden ve özellikle de On İkinci Bölümde sözünü ettiğimiz holografik ilkeden kaynaklanıyor.[14] Maldacena beş boyutlu karşı-de Sitter uzayındaki belli bir kütleçekim kuramının kütleçekim içermeyen "ikili" dört boyutlu kuramla tamamen eşdeğer olduğunu gösterdi. Beş boyutlu kütleçekim kuramında, herhangi bir kuantum kütleçekim modelinde olduğu gibi yanıtlaması zor birçok soru vardır. Ama bu konulardan bazıları ikili dört boyutlu perspektiften gayet açık hale gelirler. Örnek: zamanın bir başlangıcı var mıdır? Yanıt: hayır. Dört boyutlu kuram hiç kütleçekimi devreye sokmaz; sadece belli bir belirli uzay-zamanda yaşayan bir alan kuramıdır ve bu uzay-zaman sonsuz bir biçimde hem geçmişe hem de geleceğe uzanır. Beş boyutlu kütleçekim kuramında tekillikler olsa da bu geçerlidir; kuram bir şekilde onların ötesine de ilerlemenin de bir yolunu bulur. Böylece eksiksiz kuantum kütleçekim kuramına açık bir örneğimiz var ve burada kuramın, zamanın hiçbir zaman başlayıp sona ermediği, ebediyete kadar uzandığı en azından bir formülasyonu vardır. Kabul etmek gerekir ki kendi evrenimiz beş boyutlu karşı-de Sitter uzayına pek benzemiyor – dört makroskobik boyutu var ve kozmolojik sabit eksi değil artı. Ama Maldacena'nın örneği, kuantum kütleçekim hesaba katıldığında uzay-zamanın mutlaka bir başlangıcının olmasının gerekmediğini gösterir.

[14] Aynı zamanda *bkz.* Carroll (2008).

Büyük Patlama öncesi olmuş olabileceklere daha az soyut bir yaklaşım da benimseyebiliriz. En bariz strateji Büyük Patlamanın yerine bir sekme koymaktır. Büyük Patlama dediğimiz şeyin öncesindeki evrenin çöküp daha yoğun duruma gelmekte olduğunu tasavvur edebiliriz. Ama tekil bir Büyük Çöküşe doğru devam edeceğine, evren –bir şekilde– bizim Büyük Patlama olarak deneyimlediğimiz bir genişleme evresine sekmiştir.

Soru, sekmeye neyin neden olduğudur. Kozmologların genelde vardıkları kabuller –klasik genel görelilik artı evrendeki madde ve enerji türü üzerinde akılcı kısıtlamalar– altında gerçekleşmez. Bu yüzden bu kuralları bir şekilde değiştirmemiz gerekir. Elimizi sallayıp, "kuantum kütleçekim bunu halleder," diyebiliriz, ama bu pek de tatmin edici olmaz.



Şekil 83: Seken-evren kozmolojisi standart Büyük Patlamanın tekilliğinin yerine daralan bir evre ile genişleyen bir evre arasındaki (aşağı-yukarı) pürüzsüz bir geçiş koyar.

Son yıllarda Büyük Patlama tekilliğini düzeltip görece sakin bir sekmeye dönüştürecek modeller geliştirme yolunda bir hayli çaba sarf edilmiştir.[15] Bu önerilerin her biri evrenin tarihini Bü-

[15] İlk sekme senaryolarından birine basitçe "Büyük Patlama öncesi senaryosu" adı verilmişti. Sicim kuramından, değişirken kütleçekim kuvvetini etkileyen ve "dilaton" adı verilen yeni bir alan kullanıyordu (Gasperini ve Veneziano, 1993). İlgili bir örnek de daha sonra "çevrimsel evrene" uyarlanan "ekpirotik (ekpyrotic) evren" senaryosuydu. Bu resimde, "Patlama" olarak gördüğümüz şeye gücünü sağlayan enerji, saklı, tıkız bir boyut sıfır büyüklüğe sıkıştığında ortaya çıkar. Çevrimsel evren fikri Paul Steinhardt ve Neil Turok'un popüler bir kitabında derinlemesine ele alınmıştır; önceli olan ekpirotik evren

yük Patlamanın ötesine uzatmayı önerir, ama her biri için de söz konusu modelin gerçekten ayakta durup durmadığını söylemek henüz zordur. Evrenin doğumunu eksiksiz bir kuantum kütleçekim kuramı olmadan anlamaya çalıştığınızda yaşam böyledir.

Ama can alıcı noktayı akılda tutmakta yarar vardır: Elimizde evrenin Büyük Patlama öncesine nasıl uzandığını anlatacak eksiksiz ve tutarlı bir öykü yoksa da kozmologlar bu sorun üzerinde çok çalışıyorlar ve sonunda başaracak olmaları da çok olasıdır. Büyük Patlamanın aslında evrenin başlangıcı olmaması olasılığının da zaman oku için ciddi sonuçları vardır.

ZAMANIN TÜMÜ İÇİN BİR OK

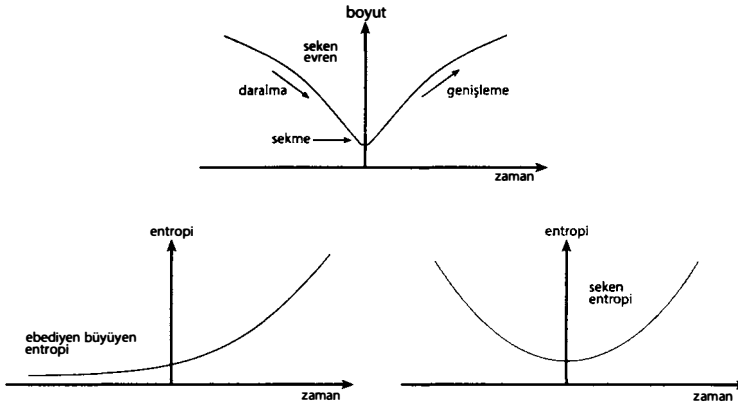
Büyük Patlama zamanın başlangıcıysa, önümüzde çok açık bir bilmece var: entropi başlangıçta neden o kadar düşüktü? Büyük Patlama başlangıç *değilse*, yine önümüzde bir bilmece var, ama farklı bir bilmece: evrenin başlangıcı bile olmayan sekme sırasında entropi neden düşüktü? Bu sadece ebedi bir tarihte bir andı.

Büyük ölçüde, sekme kozmolojisi üzerine modern tartışmalar entropi sorununa doğrudan yaklaşmaz.[16] Ama sekme öncesine bir daralma evresi eklemenin bize iki seçenek bıraktığı açıktır: entropi sekmeye yaklaşırken ya yükseliyordu ya da düşüyordu.

İlk bakışta, evren geçmişten sekme evresine yaklaşırken entropinin yükseliyor olmasını bekleyebiliriz. Ne de olsa, aşırı uzak geçmişte bir başlangıç koşuluyla başladıysak, uzay daralsa bile zaman ilerledikçe entropinin artmasını bekleriz; bu İkinci Yasanın normalde anlaşıldığı şeklidir ve zaman okunu evrenin tüm tarihi boyunca tutarlı kılar. Bu olasılık Şekil 84'ün alt sol eğrisinde gösterilmiştir. Bu birçoklarının, sekme kozmolojisini tartışırken zımnen ya da açıkça akıllarında olandır.

Khoury vd (2001) tarafından önerilmiştir. Sicimlere ya da ek boyutlara değil de uzay-zamanın kuantum özelliklerine dayanan sekme kozmolojileri de vardır, bunlar "döngü kuantum kozmolojisi" başlığı altında toplanır (Bojowald, 2006).

Umuyorum ki, bu kitabın çıkmasının ardından bu tamamen değişecek.



Şekil 84: Üstte, zaman boyunca seken bir evrenin büyüklüğü; altta, entropinin evrimi için iki farklı senaryo. Entropi, sol altta gösterildiği gibi sadece ebediyen yükseliyor olabilir, bu da tüm ebediyet boyunca tutarlı bir zaman okuna yol açar. Ya da sağ altta gösterildiği gibi, genişleme evresinde yükselmeye başlamadan önce daralma evresinde azalıyor olabilir.

Ama birlikte hareket eden parçamızın evrensel bir sekme süresince entropisinin yükseldiği bir senaryo inanılmaz bir sorunla karşılaşır. Geleneksel Büyük Patlama kozmolojisinde, entropinin halihazırdaki gözlemlenebilir evrende görece küçük olması ve geçmişte önemli oranda daha küçük olmuş olması gibi bir sorunumuz vardır. Bu evrenin şimdiki mikro-durumunda büyük ölçüde ince ayar yapılmış olmasını gerektirir ki geriye doğru işletmek için fizik yasalarını kullandığımızda entropi düşsün. Ama "evrenin başlangıcını" sonsuz ölçüde geriye ittiğimiz sekme senaryosunda, bunun gerçekleşmesi için gerekli ince ayar sonsuz ölçüde kötü olacaktır. Tersinir fizik yasalarına inanıyorsak, evren için bugün, zamanda geriye doğru ebediyen evrilebileceği, entropinin de sürekli düşeceği özelliklere sahip bir durum tasavvur etmeliyiz ki, bu çok şey istemek olur.[17]

[17] Aynı sav Steinhardt ve Turok'un çevrimsel evreni için de geçerlidir. Adına karşın, onların modeli Boltzmann-Lucretius modelinde olduğu gibi tekrarlanmaz. Sonlu boyutta durum uzayına sahip ebedi bir evrende, olası olay silsileleri aynı sıklıkla zamanda hem ileri hem de geri gerçekleşir. Ama Steinhardt-Turok modelinde zaman oku hep aynı yöne doğrultulmuştur; entropi ebediyen yükselir, bu da herhangi bir anda sonsuz miktarda ince ayar

Aynı zamanda yakından ilişkili bir başka sorundan da söz etmemiz gerekir. Birlikte hareket eden parçamızın entropisinin sekmenin hemen ardından düşük olması gerektiğini biliyoruz – yani olabileceğinden çok daha düşük. (On Üçüncü Bölümdeki tahminlerimize göre, 10^{88} ya da daha düşük olması gerekir, halbuki 10^{120} kadar yüksek olabilirdi.) Bu da entropinin sekmenin hemen öncesinde bu kadar ya da daha küçük olduğunu gösteriyor. Entropi yüksek olsaydı, bir sekme elde edemezdiniz; diğer yandan bizim içinden çıktığımız o güzel, pürüzsüz evren olarak çıkması olanaksız olan kaotik bir kargaşa elde ederdiniz. Bu yüzden tasavvur etmemiz gereken bu birlikte hareket eden uzay parçasının belirsiz uzunlukta bir süre (çok uzak geçmişten sekme anına kadar) daraldığı ve bu sırada entropinin de yükseldiği ama yalnızca azıcık yükselmeyi başardığıdır. Bunu tasavvur etmek olanaksız değildir, ama en azından sıra dışı görünür.[18]

Entropinin tutarlı bir şekilde hep yükselmesini sağlayacak kadar olağanüstü miktarda ince ayarın olanaklı olduğu olasılığını düşünsek bile evrenimizin öyle olması için elimizde kesinlikle hiçbir doğru dürüst neden yoktur. Şimdiye kadar evrenimizin neden ince ayara tâbi tutulduğuna dair hiçbir doğrulama sağlayamadık ve şimdi sonsuz miktarda ince ayar öneriyoruz. Bu hiç de ilerleme gibi gözükmüyor.

ORTA YOL VARSAYIMI

Böylece Şekil 84'ün sağ altında gösterilen alternatifi düşünmeye yönlendirildik: entropinin daralma evresinde düştüğü, sekme sırasında en düşük değere ulaştığı ve sonrasında da yükselmeye başladığı bir seken evren. Şimdi, belki de bir yerlere varıyoruz. Böylesi bir sekme kozmolojisine açık bir model 2003 yılında Ant-

---

gerektirir. İlginçtir, Richard Tolman (1931) uzun zaman önce çevrimsel evrendeki entropi sorunlarını ele almıştı, ama yalnızca maddenin entropisinden söz etmiş, kütleçekimi dışarıda bırakmıştı. Aynı zamanda, *bkz.* Bojowald ve Tavakol (2008).

Bu tartışma evvelce, birlikte hareket eden parçamızın entropisini tartışırken vardığımız kabullerin –özellikle de parçayı özerk bir sistem olarak düşünmenin anlamlı olduğunun– geçerli kaldığını kabul eder. Bu kuşkusuz mutlaka doğru değildir, ama bu senaryoları inceleyen kişilerce genellikle örtülü olarak kabul edilir.

hony Aguirre ve Steven Gratton tarafından önerilmiştir. Yapılarını şişmeye dayandırdılar ve ustaca kesme ve yapıştırmayla, zamanda ileriye doğru genişleyen şişen bir evren alıp, pürüzsüz bir sekme elde edebilmek için bunu zamanda geriye doğru genişleyen bir şişen evrene tutkallayabileceğimizi gösterdiler.[19]

Bu alternatif dramatik bir avantajı da beraberinde getirir: evrenin davranışı zamanda simetriktir. Evrenin hem büyüklüğü hem de entropisi sekmede en düşük değere sahip olacak, iki tarafa doğru da yükselecektir. Kavramsal açıdan, bu ele aldığımız diğer modellere göre büyük bir ilerlemedir; fizik yasalarının altta yatan zaman tersinmesi simetrisi evrenin büyük ölçekli davranışına yansımıştır. Özellikle, zamansal şovenizm –evrenin "başlangıç" durumunu "nihai" durumdan farklı ele almak– tuzağından kurtulmuş oluruz. Bizi, zamanda bir ana göre simetrik olan Gold evrenini düşünmeye sevk eden bu yanlışlıktan kaçınmayı arzuluyorduk. Ama şimdi Büyük Patlama öncesi bir evren düşünmeye başladığımıza göre, çözüm daha da kabul edilebilir olur: entropi zamanın her iki tarafında da düşük olduğu için değil, her iki tarafta da *yüksek* olduğu için evren simetriktir.

Yine de bu garip bir evrendir. Entropinin evrimi, geçmişi hatırlıyor olmamız ve zamanda hareket etme hissimiz de içinde olmak üzere zaman okunun bütün farklı tezahürlerinin sorumlusudur. Seken-entropi senaryosunda, zaman oku sekmede yönünü tersine çevirir. Şekil 84'ün eğrilerinin sağ yanında gösterilen gözlemlenebilir evrenimizin perspektifinden, geçmiş zamanın sekmeye doğru, düşük entropili yönündedir. Ama sekmenin, bizim (kendi perspektifimizden) eğrilerde "daralma" olarak etiketlediğimiz diğer yanındaki gözlemciler de "geçmiş" olarak zamanın, entropinin düşük olduğu yönünü işaretleyeceklerdir – yani sekme yönünü. Zaman oku hep, yerel gözlemcinin gözünden, entropinin yükseldiği yönü gösterir. Sekmenin her iki yanında da ok evrenin genişleyip boşaldığı bir "geleceğe" dönüktür. Her iki yandaki gözlemciler açısından, diğer yandaki gözlemciler zamanı "tersine" deneyimler. Ama oklardaki bu uyumsuzluk, tamamen gözlemlenemezdir – sekmenin her iki yanındaki kişiler diğer yandakilerle iletişim kura-

[19] Aguirre ve Gratton (2003). Hartle, Hawking ve Hertog da (2008) Öklitçi kuantum kütleçekimi geçmişte ve gelecekte yüksek, ortada düşük enerjili evrenleri incelediler.

mazlar, tıpkı bizim geçmişimizdeki herhangi biriyle iletişim kuramamamız gibi. Herkes Termodinamiğin İkinci Yasasının evrenin kendi gözlemlenebilir parçasında normal işlediğini görürler.

Ne yazık ki seken entropi kozmosu, içimiz rahat bir şekilde bu bölümün başında çözmeye koyulduğumuz sorunu çözdüğümüzü söylememiz için pek de yeterli değildir. Doğru, aynı zamanda evrenin entropisi için en düşük nokta olarak kozmolojik bir sekme, başlangıç değerleriyle nihai değerleri farklı belirlemek gibi felsefi bir tuzaktan bizi kurtarır. Ama bunu yeni bir bilmece pahasına yapar: entropi, neden evrenin tarihinin *ortasında* o kadar düşüktür?

Diğer bir deyişle, seken entropi modeli kendi başına zaman oku hakkında bir şey açıklamaz. Bunun yerine, bir Geçmiş Varsayımı gereğini ortadan kaldırıp yerine bir "Orta Varsayımı" gereği koyar. Eskisi kadar ince ayar vardır; hâlâ, uzayın birlikte hareket eden parçasının kurulumunun kendisini kozmolojik sekmenin yakınlarında neden böylesi düşük entropili bir durumda bulduğunu açıklama çabasına sıkışıp kalmış durumdayız.

BEBEK EVRENLER

Erken evrenimizin düşük entropisine sağlam dinamik bir açıklama sağlamak için samimi bir girişimde bulunmak üzere, geri geri gidelim. Bir anlığına halihazırdaki evrenimiz hakkında bildiklerimizi bir kenara koyalım ve On Üçüncü Bölümde sorduğumuz soruya geri dönelim: Evren neye benzemelidir? Bu tartışmada, doğal –geçmiş, şimdi ya da gelecekteki herhangi bir anda ince ayarlanmış düşük entropili sınır koşullarına dayanmayan– bir evrenin temelde boş uzay gibi görünmesi gerektiğini öne sürmüştüm. Küçük bir artı vakum enerjimiz olduğunda, boş uzay de Sitter uzayı biçimini alır.

Herhangi bir modern kozmoloji kuramının bu durumda yanıtlaması gereken soru şudur: Neden de Sitter uzayında yaşamıyoruz? Yüksek entropisi var, ebediyen sürüyor ve uzay-zamanın eğikliği küçük ama sıfır olmayan bir sıcaklığa neden oluyor. De Sitter uzayı ince termal ardalan ışınımı dışında boştur, bu yüzden büyük ölçüde yaşama kesinlikle uygun değildir; zaman oku yoktur, çünkü termal dengededir. Newton uzay-zamanındaki kapalı bir kutu gazdan bekleyeceğimiz termal dalgalanmalar olur.

Böylesi dalgalanmalar, yeterince beklerseniz Boltzmann beyinleri, eksiksiz galaksiler ya da aklınıza gelecek herhangi bir makrodurum doğurabilir. Ama biz böylesi bir dalgalanmada gibi değiliz – olsaydık, etrafımızdaki dünya olabildiğince yüksek entropide olurdu ki, açıkça değildir.

Bir çıkış yolu vardır: de Sitter uzayı sadece ebediyen, kesintisiz bir şekilde uzanıyor olmayabilir. Bir şey olmuş olabilir. Eğer böyle bir şey olduysa, Boltzmann beyinleri üzerine tüm söylediklerimiz çöpe gider. Bu sav yalnızca ne türden bir sistemle uğraştığımızı bildiğimiz için –sabit sıcaklıkta bir gaz– anlamlıydı ve bunun ebediyete kadar süreceğini biliyorduk, bu yüzden çok düşük olasılıklı şeyler bile eninde sonunda gerçekleşecekti ve güvenilir bir şekilde farklı güvenilmez olayların göreli sıklığını hesaplayabilirdik. Resmin içine karışıklıklar sokarsak, bunlar bir kenara atılır. (En azından, çoğu.)

De Sitter uzayının ebediyen sürmesini engellemenin yollarını tasavvur etmek kolaydır. "Eski şişme" modelinin temelde, erken evrende bir de Sitter uzayının sahte vakum durumunda kısılmış bir enflaton alanı tarafından sağlanan çok yüksek enerji yoğunluğuna sahip bir dönemi olduğunu anımsayın. Daha düşük enerjili başka bir vakum durumu bulunduğu sürece, bu de Sitter uzayı sonunda gerçek vakum kabarcıklarının ortaya çıkmasıyla bozunacaktır. Kabarcıklar hızla ortaya çıkarsa, sahte vakum tamamen yok olacaktır; yavaşça ortaya çıkarlarsa, kalıcı bir sahte vakum ardalanında bir gerçek vakum kabarcıklarının kırılmış karışımını elde ederiz.

Şişme durumunda can alıcı bir nokta de Sitter evresi boyunca enerji yoğunluğunun çok yüksek olmasıdır. Biz burada tayfın diğer ucuyla ilgileniyoruz – bizim halihazırdaki evrenimizde olduğu gibi, vakum enerjisinin aşırı düşük olduğu yerlerle.

Bu muazzam bir farktır. Yüksek enerjili durumlar düşük enerjili durumlara bozunmak isterler, ama tersi olmaz. Bunun nedeni enerjinin korunumu değil, entropidir.[20] De Sitter uzayıyla bağlan-

[20] Bu olağan, toplam enerjinin hassasiyetle korunduğu, kütleçekimsel olmayan durumlarda da geçerlidir. Yokuş aşağıya yuvarlanan bir top gibi yüksek enerjili bir durum daha düşük enerjili bir duruma bozunduğunda, enerji yaratılmaz ya da yok olmaz; sadece yararlı düşük entropili bir biçimden yararsız yüksek entropili bir biçime dönüşür.

tılı entropi, enerji yoğunluğu yüksek olduğunda düşük, enerji yoğunluğu düşük olduğunda da yüksektir. Yüksek enerjili de Sitter uzayının daha düşük vakum enerjili bir duruma bozunumu sadece düşük entropili bir durumun yüksek enerjili olana doğal evrimidir. Ama biz, halihazırdaki evrenimizin evrildiğine benzer bir durumdan nasıl kurtulabileceğimizi bilmek istiyoruz: çok düşük vakum enerjisi ve çok yüksek entropisi olan boş de Sitter uzayı. Oradan nereye gidiyoruz.

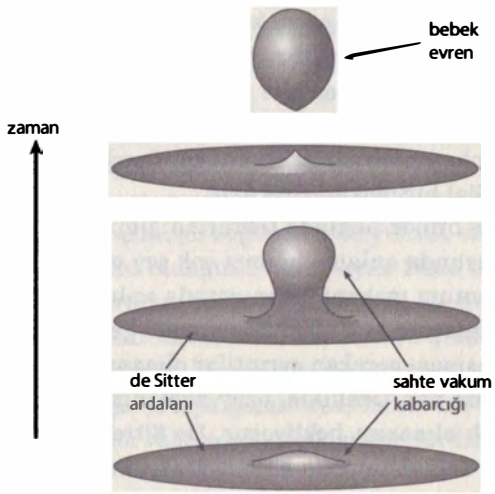
Her şeyin doğru kuramı klasik de Sitter uzayı ardalanında kuantum alan kuramıysa, kısılıp kaldık demektir. Uzay genişlemesini sürdürecek, kuantum alanları dalgalanmalarını sürdürecekler ve biz de aşağı-yukarı Boltzmann ve Lucretius'un betimlediği konumda olacağız. Ama kuantum kütleçekim sayesinde (en azından) bir olası kurtuluş yolu vardır: *bebek evrenlerin* yaratılması. De Sitter uzayı sürekli bir her biri düşük entropiyle başlayıp kendi yüksek entropili de Sitter uzayına genişleyen bebek evrenler akımına neden olursa, elimizde evrende giderek daha fazla entropi yaratacak doğal bir mekanizma olur.

Evvelce de birçok noktada tekrarladığımız gibi, kuantum kütleçekim konusunda anlamadığımız çok şey var. Ama klasik kütleçekim ve kuantum mekaniği konusunda anladığımız çok şey var; bu yüzden kuantum kütleçekimde olması gerekenler konusunda, açıklığa kavuşması gereken ayrıntılar olmasına karşın kimi akılcı beklentilerimiz var. Özellikle, uzay-zamanın kuantum dalgalanmalarına açık olmasını bekliyoruz. De Sitter ardalanında kuantum alanları dalgalanmakla kalmayacak, bizatihi de Sitter uzayı da dalgalanacaktır.

Uzay-zamanın dalgalanmasının bir yolu 1990'larda Edward Farhi, Alan Guth ve Jemal Guven tarafından incelenmişti.[21] Uzay-zamanın yalnızca olağan klasik görelilikte olduğu gibi eğilip uzamakla kalmayıp, aynı zamanda birçok parçaya bölünebileceğini de önermişlerdi. Özellikle, minik bir uzay parçası daha büyük bir evrenden kopup kendi yoluna gidebilirdi. Ayrılan uzay parçası, doğaldır ki, bebek evren olarak biliniyordu. (Geçen bölümde sözü edilen ve ardalan uzay-zamana bağlı kalan "cep evrenlerin" aksine.)

[21] Farhi, Guth ve Guven (1990). Aynı zamanda, *bkz*. Farhi ve Guth (1987) ve Fishler, Morgan ve Polchinski (1990a, 1990b). Guth bu çalışmadan popüler düzeydeki kitabında (1997) söz eder.

Bundan daha özgül olabiliriz. De Sitter uzayındaki termal dalgalanmalar gerçekten altta yatan kuantum alanlarının dalgalanmalarıydı; parçacıklar alanları gözlemlediğimizde gördüğümüz şeylerdi. Bu alanlardan birinin bir enflaton olmak için uygun özelliklere sahip olduğunu tasavvur edelim – potansiyelde, alanın bir sahte vakum vadisinde ya da yeni-şişme platosunda görece hareketsiz kaldığı yerler olabilir. Ama orada başlamaktansa, alanın dipte, vakum enerjisinin çok küçük olduğu yerde başladığında ne olduğunu düşünelim. Kuantum dalgalanmaları ara sıra alanı potansiyelden yukarı, gerçek vakumdan sahte vakuma itecektir – her yerde birden değil, ama uzayın küçük bir parçasında.



Şekil 85: Sahte vakum kabarcığının kuantum dalgalanmaları yoluyla bir bebek evrenin yaratılması.

De Sitter uzayında bir sahte vakum kabarcığı dalgalanıp oluştuğunda ne olur? Yine dürüst olmak gerekirse, emin değiliz.[22] Bir

[22] Yakınlarda bu konuda yazılmış en kapsamlı çalışma Anthony Aguirre ve Matthew Johnson tarafından gerçekleştirilmiştir (2006). Bebek evrenlerin kuantum tünellemesi yoluyla yaratılabileceği tüm farklı yolları kataloglayadılar, ama sonunda, aslında ne olduğu konusunda kesin bir ifadede bulunamadılar. ("Varılan sonuç ne yazıktır ki, çeşitli çekirdeklenme (nükleasyon) süreçlerinin aralarındaki ilişkiler hayli berrak olsa da gerçekte hangisinin gerçekleştiği sorusunun açık kaldığıdır.") Tamamen farklı bir perspektiften,

şey olası gözüküyor: çoğu zaman, alan sadece termal çevresine dağılacaktır. İçeride, sahte vakuma dalgalanmış olduğumuz yerde, uzay genişlemek isteyecektir; ama içerisini kabarcığın dışından ayıran duvar büzülmek ister ve genellikle de dramatik bir şey gerçekleşmeden hızla büzülüp gider.

Ama ara sıra, şanslı olabiliriz. Şanslı olma süreci Şekil 85 içinde gösterilmiştir. Görmüş olduğumuz enflaton alanının bir sahte vakum kabarcığı yarattığı ve uzayın, evrenin geri kalanından ayrılan bir bölge yarattığı eşzamanlı dalgalanmadır. İkisini birleştiren dar boğaz, Altıncı Bölümde sözünü ettiğimiz bir solucan deliğidir. Ama bu solucan deliği istikrarsızdır ve hızla çökerek yok olup bizi iki farklı uzay-zamanla bırakır: özgün ana evren ve minik bebek.

Şimdi, sahte vakum enerjisinin egemenliğinde bir bebek evren var, şişmeye ve muazzam bir boya kadar genişlemeye hazır. Sahte vakumun özellikleri uygunsa, enerji sonunda olağan madde ve ışınıma dönüşecek ve elimizde standart şişme-artı-Büyük Patlama öyküsüne göre evrilen bir evren olacak. Bebek evren gelişigüzel büyüklükte bir boya kadar büyüyebilir; örneğin enerji tüketiminin dayattığı bir sınırlama yok. Kapalı, tıkız bir evrenin toplam enerjisinin, her şeyin yanında kütleçekim alanının enerjisini de hesaba kattığımızda tam olarak sıfır olması, genel göreliliğin ilginç özelliklerinden biridir. Bu yüzden şişme mikroskobik küçüklükte minik bir uzay topunu alıp onu gözlemlenebilir evrenimizin boyutlarına ya da daha ötesine kadar şişirebilir. Guth'un da belirttiği gibi, "şişme, nihai bedava yemektir."

Kuşkusuz bebek evrenin entropisi başlangıçta çok düşüktür. Bu hile yapmak gibi görünebilir – gözlemlenebilir evrenimizde çok fazla hareket özgürlüğü olduğunu, evren gençken hepsinin ortada olduğunu ve bunların arasından rastgele seçmemiz durumunda düşük entropili bir durum elde etmenin olağanüstü düşük bir olasılık olduğunu göstermek için uzun uzun dil dökmedik mi? Bunların hepsi doğrudur, ama bir bebek evren yaratma süreci, evrenimizin kurulumunu rastgele seçtiğimiz bir süreç değildir. Çok

---

Freivogel vd (2006), Maldacena'nın örtüşmesini kullanarak, karşı-de Sitter ardalanında şişmeyi ele aldılar. Bebek evrenlerin yaratılmadığı sonucuna vardılar. Ama bizim ilgimiz karşı-de Sitter değil de Sitter ardalanlarıdır; sonucun bir bağlamdan diğerine aktarılıp aktarılamayacağı açık değildir. De Sitter uzayı üzerine başka bir deneme için, *bkz*. Bousso (1998).

özgül bir şekilde seçilir: boş bir ardalan uzay-zamanında ayrılıp ayrı bir evren olabilecek bir kuantum dalgalanmasına dönüşebilecek en olası kurulum. Bir bütün olarak ele alındığında, çoklu evrenin entropisi bu süreç zarfında düşmez; başlangıç durumu yüksek entropili de Sitter uzayıdır ve evrilerek yüksek entropili de Sitter uzayı artı küçük bir ek evren durumuna gelir. Bir denge kurulumunun daha düşük entropili bir duruma dalgalanması değil, yüksek entropili bir durumun toplamda daha da yüksek entropili bir duruma sızmasıdır.

Yeni bir evrenin doğumunun, tıpkı bir insanın doğumu gibi dramatik ve acılı bir olay olduğunu düşünebilirsiniz. Ama aslında hiç de öyle değildir. Kabarcığın içinde, kuşkusuz, işler hayli dramatiktir – evvelce hiç olmadığı bir yerde, yeni bir evren vardır. Ama ana evrendeki bir dış gözlemcinin bakış açısından, tüm süreç hemen hemen hiç fark edilmez. Birçok çok küçük yüksek yoğunluk bölgesi oluşturmak üzere bir araya gelen termal parçacık dalgalanması gibidir – doğrusu, bir kara delik. Ama bu çok minik entropisi olan mikroskobik bir kara deliktir ve oluştuğu kadar hızlı bir biçimde Hawking ışınımı olarak buharlaşır. Bir bebek evrenin doğumu bir bebek insanın doğumundan çok daha az travmatiktir.

Doğrusu, bu öykü doğruysa, bu kitabı okuduğunuz odada şu anda bir bebek evren oluşuyor olabilir ve bunu hiç fark etmezsiniz. Bu pek olası değildir; bizim fiilen gözlemleyebildiğimiz evrenin tüm uzay-zamanında, hiç gerçekleşmemiş olması mümkündür. Olduysa da eylem hepten mikroskobik boyutlarda olacaktır. Yeni evren muazzam bir boya ulaşabilir, ama özgün uzay-zamandan tamamen kopuk olacaktır. Başka bazı çocuklar gibi, bebek evren ile ana-babası arasında kesinlikle bir iletişim olmaz – bir kez ayrıldılar mı, ebediyen ayrı kalırlar.

HAREKETLİ ÇOKLU EVREN

Yani de Sitter uzayı yüksek entropili bir gerçek vakum durumunda bulunduğunda bile tamamen istikrarlı olmaması mümkündür. Dahası, yeni bebek evrenler de doğurabilir ve bunlar da kendi başlarına büyük evrenlere dönüşebilir. (Ve onlar da bebek evrenler doğurabilir.) Özgün de Sitter uzayı, esas olarak rahatsız olmadan kendi yolunda devam eder.

Bebek evrenler olasılığı zaman oku sorununda olası en büyük farkı yaratır. Temel açmazı anımsayın: Yaşanacak en doğal evren de Sitter uzayıdır, artı vakum enerjisine sahip, sabit sıcaklıkta bir kutu ebedi gaz gibi davranan boş uzay. Gaz zamanının çoğunu termal dengede geçirir, nadir olarak da düşük entropili durumlara dalgalanmalar olur. Bu tür bir düzenekle, hayli güvenli bir şekilde ne türden dalgalanmaların gerçekleşeceğini ve bunların hangi sıklıkla yaşanacağını nicelendirebiliriz. Dalgalanmaların içermesi istenen herhangi bir şey verildiğinde –bir kişi, galaksi hatta yüz milyar galaksi– bu senaryo böylesi dalgalanmaların, dalgalanmanın kendisi dışında, çoğunlukla dengedeymiş gibi görüneceğini güçlü bir şekilde öngörür. Dahası, böylesi dalgalanmalar çoğunlukla yüksek entropili durumlardan doğacak ve yeniden yüksek entropili durumlara evrilecektir. Bu yüzden gözlemcilerin çoğunluğu, çevredeki yüksek entropili parçacık gazındaki rastgele düzenlemelerden kaynaklanacakları için, kendilerini evrende yalnız başına bulacaklardır; çoğu galaksiler filan da öyle olacaktır. Potansiyel olarak bizim Büyük Patlama kozmolojimizin tarihine benzer bir şeye dalgalanabilirsiniz; ama böylesi bir dalgalanma içindeki gözlemcilerin sayısı, yalnız başına olan gözlemcilerin sayısından çok daha az olacaktır.

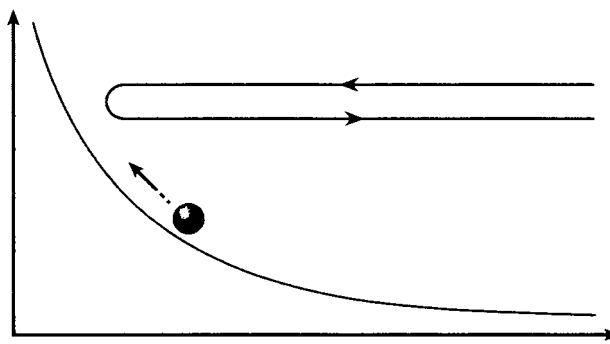
Bebek evrenler bu manzarayı can alıcı bir şekilde değiştirir. Şimdi olabilecek tek şeyin dengeden uzaklaşan sonra da geri dönen bir termal dalgalanma olduğu artık doğru değildir. Bebek evren de bir tür dalgalanmadır, ama hiç geri dönmeyen cinsinden – büyüyüp soğur, ama özgün uzay-zaman ile yeniden birleşmez.

Yapmış olduğumuz, evrene entropisini sınırsız yükseltmenin bir yolunu sağlamaktır. De Sitter evreninde uzay sınırsız büyür, ama uzayın herhangi bir gözlemciye görünür olan parçası sonlu kalır ve sonlu entropiye sahiptir – kozmolojik ufkun alanı. O uzayın içinde, alanlar hiç değişmeyen sabit bir sıcaklıkta dalgalanır. Bu bir denge kurulumudur, her süreç zamandaki tersi kadar sıklıkla olagelir. Bebek evrenler bir kez oyuna dahil olduğunda, sistem artık dengede değildir, çünkü denge diye bir şey yoktur. Bir artı vakum enerjisinin varlığında, (bu öyküye göre), evrenin entropisi hiçbir zaman bir en yüksek değere erişip orada kalmaz, çünkü evrenin entropisinin en yüksek değeri yoktur – yeni evren-

ler yaratarak, hep yükselir. Boltzmann-Lucretius senaryosunun paradoksundan böyle kaçınılabilir.

Basit bir benzetmeyi ele alın: bir tepeden yukarı yuvarlanan top. Bir potansiyelde hareket eden bir kuantum alanı değil, gerçek, yeryüzündeki bir top. Ama çok özel bir tepe: belli bir dip noktasına hiç ulaşmayan, düzgünce sonsuzluğa doğru inen bir tepe. Ve hiçbir sürtünmenin kesinlikle söz konusu olmadığı bir tepe ki, top ebediyen aynı miktar enerjiyle yuvarlanabilsin.

Şimdi kendi kendimize soralım: top ne yapmalıdır? Yani mucizevi bir şekilde yalıtılmış bir sistem olarak, evrenin geri kalanı tarafından rahatsız edilmeden ebediyen işleyecek böylesi bir topu bulduğumuzu tasavvur edersek, topun ne türden bir durumda olmasını bekleriz?



Şekil 86: Dibi olmayan bir tepede yuvarlanan bir top. Böylesi bir topun sahip olabileceği bir tek güzergâh vardır: sonsuz uzaklıktaki sonsuz geçmişten gelip, bir dönüş noktasına kadar yukarıya yuvarlanıp, yönünü değiştirip sonsuz gelecekteki sonsuzluğa geri yuvarlanmak.

Bu anlamlı bir soru olabilir de olmayabilir de ama yanıtlaması o kadar zor değildir, çünkü topun yapabileceği o kadar fazla şey yoktur. Top için mümkün olan tüm güzergâhlar temelde aynıdır: sonsuzluktan yuvarlanır, döner ve geri yuvarlanır. Topun sahip olduğu toplam enerjiye bağlı olarak, dönüş noktası tepeden yukarı farklı olası yüksekliklere ulaşacaktır, ama nitel davranış aynı olacaktır. Bu yüzden, topun ömründe hareket halinde olmadığı kesinlikle bir tek an olacaktır: ters döndüğü an. Diğer bütün anlarda ya sağa ya da sola hareket edecektir. Dolayısıyla topu rastgele bir

anda gözlemlediğimizde, çok muhtemelen ya bir yönde ya da diğerinde hareket ediyor olacaktır.

Şimdi bir de topun içinde yaşayan, filozofları ve bilim insanlarıyla tam tekmil bir uygarlık olduğunu tasavvur edin. En gözde tartışma konularından biri "hareket oku" olarak adlandırdıkları şey olacaktır. Bu düşünürler toplarının Newton'ın hareket yasalarıyla kusursuz uyumlu olarak evrildiğini fark etmişlerdir. Bu yasalar sağla solu ayırt etmez: tamamen tersinirdirler. Bir vadinin dibine bir top yerleştirildiğinde, orada ebediyete kadar hareketsiz oturup kalacaktır. Tam dibinde değilse, dibe doğru yuvarlanmaya başlayacak ve o civarda gidip gelecektir. Ama onların topu çok uzun bir zamandır tutarlı bir şekilde aynı yönde yuvarlanıyor gibidir! Ne olmuş olabilir ki?

Bu biraz ayarsız benzetmenin koşulları hemen görülmediyse, top evrenimizi temsil ediyor, soldan sağa konumu da entropiyi. Topun tutarlı bir yönde hareket ediyor olmasının şaşırtıcı olmamasının nedeni, o özel geri dönüş noktası dışında hep aynı yönde hareket etme eğiliminde olmasıdır. Görünüşe karşın, topun sağdan sola gittiği güzergâh, soldan sağa gittiği güzergâhtan hiç farklı değildir; topun hareketi, dönüş noktası etrafında zamanda tersinme simetrisindedir.

Belki de evrenimizin entropisi de böyledir. (Bebek evrenlerin bulunmadığı) De Sitter uzayındaki gerçek sorun, neredeyse hep dengede olmasıdır – herhangi bir gözlemci öngörülebilir dalgalanmalarıyla ebediyen süren bir termal banyo görecektir. Daha genel olarak, kozmoloji bağlamında "denge" diye bir şey varsa, evreni neden böyle görmediğimizi anlamak zordur. Denge diye bir şey olmadığını öne sürerek, bu açmazdan kurtulabiliriz. Entropinin yükselmesini görmek doğal olur, çünkü entropi hep yükselebilir.

Bu Jennifer Chen ve benim 2004'te önerdiğimiz senaryodur.[23] Evrenin ebedi olduğunu –Büyük Patlama zamanın başlangıcı olmadığını– ve de Sitter uzayının evrenin bulunacağı doğal bir yüksek entropili durum olduğunu kabul ederek başladık. Bu istediğiniz her türden durumla "başlayabileceğimiz" anlamına gelir – uzayda gözde bir madde ve enerji dağılımı alıp, oradan evrilirsiniz. *Başlamayı* tırnak içine aldık çünkü herhangi bir zamandaki

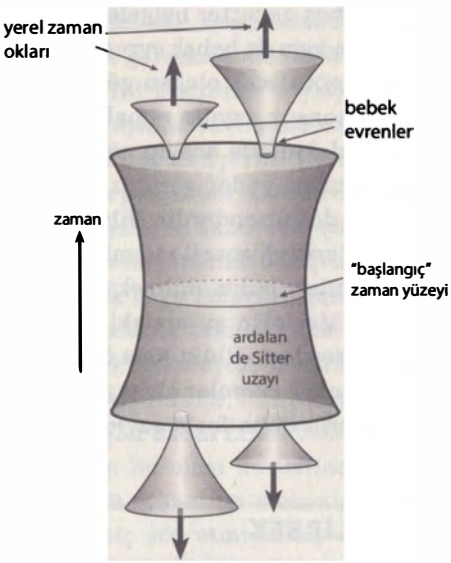
[23] Carrol ve Chen (2004).

koşullar karşısında başlangıç koşulları önyargısı yaratmak istemedik; fizik yasalarının tersinirliğine saygı göstererek, durumun zamanda hem ileri hem de geri evrilmesini sağladık. Burada öne sürdüğüm gibi, zamanda ileriye normal evrim, uzayın genişleyip boşalması ve eninde sonunda bir de Sitter durumuna yaklaşmasıdır. Ama oradan, yeterince beklersek, kuantum dalgalanmaları yoluyla ara sıra bebek evrenlerin üretilmesini göreceğiz. Bu bebek evrenler genişleyip şişecek ve sahte vakum enerjileri eninde sonunda olağan madde ve ışınıma dönüşecek, bunlar da sonunda bir kez daha de Sitter uzayı elde edilene kadar seyrelip gidecektir. Oradan, hem özgün evren hem de yeni evren, yeni bebekler doğurabilir. Bu süreç ebediyen devam eder. Uzay-zamanın de Sitter gibi görünen parçalarında evren dengededir ve zaman oku yoktur. Ama bebek evrenlerde, ilk doğum ile nihai soğuma arasındaki zamanda, entropi sıfıra yakın bir değerden denge değerine ulaşana kadar, belirgin bir zaman oku vardır.

Daha ilginci, aynı öykü, Şekil 87'de gösterildiği gibi, başlangıç durumundan itibaren zamanda geriye doğru da anlatılabilir. Henüz de Sitter olmadıysa, evren zamanda ileriye olduğu kadar geriye doğru da boşalacaktır. Oradan bebek evrenler doğuracak ve bunlar da genişleyip soğuyacaktır. Bu bebek evrenlerde, zaman oku "geleceğe" yerleştirdiğimiz evrenlere göre ters tarafa yönelmiştir. Zaman koordinatının toplam yönü, şüphesiz ki, tamamen keyfidir. Diyagramın üst bölümündeki gözlemciler diyagramın alt tarafını "geçmiş" olarak düşünecek, diyagramın alt tarafındaki evrenlerde bulunan gözlemciler de üst tarafı "geçmiş" olarak düşünecektir. Zaman okları uyumsuzdur, ama bu herhangi bir Benjamin Button sevimsizliğine yol açmaz; o bebek evrenler zamanda birbirlerinden tamamen ayrılmıştır ve okları birbirlerinden uzağa bakar bu yüzden aralarında iletişim olanaksızdır.

Bu senaryoda, aşırı büyük ölçeklerde çoklu evren orta anın etrafında simetriktir; en azından istatistiksel olarak uzak gelecekle uzak geçmiş ayırt edilemez. Bu anlamda, bu görüntü evvelce ele aldığımız seken kozmolojilere benzer; entropi, ortadaki en düşük entropi noktası etrafında, zamanda her iki yönde de ebediyen yükselir. Ama can alıcı bir fark vardır: "en düşük" entropi anı aslında bir "düşük" entropi anı değildir. O orta an, tipik sekme modellerinde olduğu gibi, belli özel çok düşük entropili başlan-

gıç koşuluna göre ince ayar edilmemişti. Artı vakum enerjisinin varlığında tek bir bağlantılı evren için elde edebileceğimiz kadar yüksekti. Marifet buradadır: başlangıçta büyük olarak başlamış olsa da entropinin zamanın her iki yönünde de yükselmesine izin vermek. Seçebileceğimiz, bu türden evrimin gerçekleşmesini önleyecek bir durum yoktur. Bir zaman oku kaçınılmazdır.[24]



Şekil 87: Ardalan de Sitter uzayında hem geçmişe hem de geleceğe doğru yaratılmış bebek evrenler. Her bebek evren yoğun, düşük entropili bir durumda başlar ve genişleyip soğudukça yerel bir zaman oku sergiler. Geçmişte doğan bebek evrenler gelecekte doğanlara göre ters yöne bakan zaman oklarına sahip olduklarından, çoklu evren zaman tersinmeli simetri gösterir.

Tüm bunları söyledikten sonra, hâlâ neden bizim gözlemlenebilir evren parçamızın zamanın bir başında o kadar düşük entropili sınır koşuluna sahip olduğunu –neden bize özgü özgürlük derecesinin böylesi doğal olmayan bir durumda bulunduğunu–

[24] Buradaki bir kabul, de Sitter uzayının bir gerçek vakum durumunda bulunduğudur; özellikle kuramın vakum enerjisinin yok olduğu ve uzay-zamanın Minkowski uzayı gibi göründüğü başka bir durumu yoktur. Dürüst olmak gerekirse, bu mutlaka gerçekçi bir kabul değildir. Örneğin sicim kuramında, 10-boyutlu Minkowski uzayının kuramın iyi bir çözümü olduğundan hayli eminiz. De Sitter'in aksine, Minkowski uzayında sıcaklık sıfırdır, bu yüzden bebek evrenlerin doğumundan kaçınılabilmesi olasıdır. Burada betimlenen senaryonun işlemesini sağlamak için, ya sıfır vakum enerjili durumların olmadığını ya da böylesi bir durumda bulunan uzay-zaman miktarının de Sitter bölgelerine göre yeterince küçük olduğunu tasavvur etmemiz gerekir.

sorabiliriz, ama bu manzarada, sorulacak doğru soru bu değildir. Hangi özgürlük düzeyine sahip olduğumuzu bilip, sonra da onların belli bir kurulumda bulunduklarını (ya da bulunmuş olduklarını) sorarak başlamıyoruz. Doğrusu, çoklu evrene bir bütün olarak bakmamız ve bizim gibi gözlemcilerin çoğunlukla ne deneyimlediklerini sormamız gerekir. (Senaryomuz yararlı olacaksa, özgül "bizim gibi" tanımının bir öneminin olmaması gerekir.)

Bu çoklu evren sürümünde hem boş de Sitter bölgelerinde dolanan yalıtılmış Boltzmann beyinleri hem de bebek evrenlerin düşük entropili başlangıçları sonrası görülecek olağan gözlemciler olacaktır. Doğrusu, her türden de sonsuz sayıda olmalıdır. Peki hangi sonsuzluk kazanır? Denge ardalanında acayip gözlemciler yaratan türden dalgalanmalar kuşkusuz ender görülür, ama bebek evrenler yaratan dalgalanmalar da çok enderdir. Nihayetinde, zamanın her yönüne dallanan evrenlerin eğlenceli resimlerini çizmek yeterli değildir; güvenilir öngörülere bulunabilmek için işleri nicel düzeyde iyi anlamak gerekir. Mesleğin şu andaki durumu, kabul etmem gerekir ki, henüz o düzeyde değildir. Ama boş uzaydaki rastgele dalgalanmalara göre bebek evrenler oluşup dengeye doğru soğurken doğacak gözlemcilerin daha fazla sayıda olması muhtemeldir.

SADEDE GELİRSEK

İşliyor mu? Bebek evrenler ile çoklu evren senaryosu zaman oku için tatminkâr bir açıklama getiriyor mu?

Zaman oku sorununa birçok olası yaklaşımı elden geçirdik: zamanla değişen bir durum uzayı, özünde tersinmez dinamik yasalar, özel bir sınır koşulu, simetrik yeniden çöken bir evren, genel zaman simetrisi olan ya da olmayan seken evren, sınırsız bir çoklu evren ve şüphesiz ki ebedi bir denge durumunun çevresinde dalgalanmalardan oluşan Boltzmann-Lucretius senaryosu. Yeniden çöken Gold evreni deneysel açıdan hayli düşük olasılıklı görünüyor, çünkü evrenin genişlemesi hızlanıyor ve Boltzmann-Lucretius evreni de gözlem yoluyla saf dışı kalmış gibi duruyor, çünkü Büyük Patlamanın bu resimde sahip olabileceğinden çok daha düşük bir entropiye sahipti. Ama henüz diğer olasılıklar devrededir; onları daha az ya da çok tatminkâr bulabiliriz, ama

onları öylesine bir kenara itecek kadar kendimize güvenecek durumda değiliz. Gerçek yanıtın henüz hiç düşünmediğimiz bir şey olma olasılığından hiç söz etmiyorum.

Bebek evrenlerin ve çoklu evrenin sonunda zaman okunun anlaşılmasında bir rol oynayıp oynamayacaklarını söylemek zordur. Bir kere, vurgulamak için (belki de biraz fazla) didindiğim gibi, yol boyunca en hafif tabirle korkusuzca spekülasyon yaptığımız birçok adım var. Kuantum kütleçekim üzerine anlayışımız bebek evrenlerin gerçekten de de Sitter uzayından dalgalanarak oluşabileceklerini kesinlikle söyleyebilecek düzeyde değil; hem lehine hem de aleyhine savlar mevcut gibi. Vakum enerjisinin rolünü de tam olarak anlamıyoruz. Evrenimizde gözlemlediğimiz kozmolojik sabitin gerçekten olası en düşük vakum enerjisiymiş gibi konuşuyoruz, ama bu kabul için çok az somut kanıt var. Örneğin sicim kuramı manzarasında, doğru vakum enerjisine sahip durumlar elde etmek hayli kolaydır, ama aynı zamanda, eksi vakum enerjiye sahip olanlarla tamı tamına sıfır vakum enerjiye sahip olanları elde etmek de kolaydır. Daha kapsamlı bir kuantum kütleçekim ve çoklu evren kuramı, farklı makroskobik boyut sayılarının arasındaki geçişler kadar farklı vakum enerjisi değerleri de içinde olmak üzere tüm bu olası durumların nasıl birbirlerine oturacaklarını öngörürdü. Kuantum mekaniğini de gerçekten ciddiye almadığımızdan hiç söz etmiyorum – kuantum dalgalanmalarına işaret ettik, ama özünde klasik uzay-zaman olan resimler çizdik. Doğru yanıtın, hangisiyse, daha çok dalga fonksiyonları, Schrödinger'in denklemi ve Hilbert uzayları terimleriyle telaffuz edilecek olması daha olası.

Önemli nokta, belli bir modelin şansı değil, evreni olabilecek en büyük boyutta anlamaya çalışırken zaman okunun bize sağladığı can alıcı ipucudur. Tüm olan gerçekten de gördüğümüz evrense, düşük entropili bir başlangıç olarak Büyük Patlama olduysa, elimizde rahatsız edici bir ince ayar sorunu var demektir. Gözlemlenebilir parçamızı daha geniş bir çoklu evrene dahil etmek, bağlamı değiştirerek bu sorunu hafifletir: "hedef bütün evrenin zamanın başlangıcında neden düşük entropili bir sınır koşulu olduğunu açıklamak değil, neden entropinin dramatik biçimde yükseldiği çok daha büyük bir bütünden doğan görece küçük uzay-zaman bölgelerinin var olduğudur. Bu soru da çoklu evren herhangi

bir en yüksek entropi durumuna sahip değilse yanıtlanabilir: Biz hangi durumda bulunursak bulunalım, entropi yükselebildiği için yükseliyor. Marifet, işleri entropinin genelde yükseldiği mekanizmanın, bizimkine benzer evrenlerin üretimi olacağı şekilde düzenlemektedir.

De Sitter uzayına ve bebek evrenlere dayanan çoklu evrenin güzel yanı zaman okuna birçok yaklaşımın düştüğü tüm tuzakları atlatıyor olmasındadır: geçmişi ve geleceği eşit değerlendiriyor, temel dinamikler düzeyinde tersinmezliği işin içine sokmuyor ve hiçbir zaman evrenin herhangi bir durumu için kendiliğinden düşük entropili bir durum kabulünde bulunmuyor. Böylesi bir açıklamanın, elimizdekinin bırakın doğru yanıtın bir parçası olmasını, akılcı olup olmadığını bile henüz yargılayamıyor olsak da en azından olası olduğunu göstermeye yarıyor. Zaman okunun bizatihi fizik yasalarından doğal ve dinamik bir şekilde nasıl doğduğu üzerine sonunda bir anlayışa varabileceğimiz konusunda iyimser olmak için çok nedenimiz var.

16
SONSÖZ

Dünyaya zaman sanki ortadan kalkmış gibi bakın; o zaman çarpık olan her şey size düzelmiş gibi görünecek.

–Friedrich Nietzsche

Birçok yazarın aksine, bu kitabın başlığını bulmakta hiç zorluk çekmedim.[1] Bir kez başlık aklıma geldiğinde, karşı konulmaz oldu. Yan anlamlar kusursuzdu: bir yandan (klasik bir romana dayanan) klasik bir film* Pasifiğin vahşi dalgalarının âşıklar Deborah Kerr ve Burt Lancaster'ı tutkulu bir sarılma esnasında yakaladığı o unutulmaz sahne. Diğer yanda, *ebediyet* sözcüğüne içkin kozmolojik azamet.

Ama başlık bu yüzeysel düşüncelerin akla getirebildiğinden de daha uygun. Bu kitap yalnızca "ebediyet" üzerine değil; aynı zamanda "burası" üzerine. Zaman oku bilmecesi dev teleskoplarla ya da güçlü parçacık hızlandırıcılarla başlamıyor; her yumurta kırdığımızda mutfağımızda. Ya da kahveye süt karıştırdığımızda, ılık suya buz attığımızda, halıya şarap döktüğümüzde, kokuların odaya dağılmasını izlediğimizde, bir deste kâğıt karıştırdığımızda, lezzetli bir yemeği biyolojik enerjiye dönüştürdüğümüzde, kalıcı anılara yol açan bir olay izlediğimizde ya da yeni bir nesil doğurduğumuzda. Tüm bu sıradan olaylar zaman okunun alametifarikası olan temel tersinmezliği sergilerler.

Bu oku anlama girişimiyle başlayan akıl yürütme zinciri bizi kaçınılmaz olarak kozmolojiye –ebediyete– götürdü. Boltzmann

---

[1] Ve tam da müsveddelerin tamamlandığı sıralarda, tamamen aynı ada sahip başka bir kitabın (Viola, 2009) piyasaya çıkmasına karşın böyle oldu. Ama alt başlığı hayli farklıydı: "Tanrı'nın Eskimeyen Amacını Yeniden Keşfetmek." Umarım kimse kazara yanlış kitabı sipariş etmez.

Yazar burada, kitabın özgün adı olan *From Eternity to Here* ile ülkemizde *İnsanlar Yaşadıkça* adıyla gösterilen ve özgün adı *From Here to Eternity* olan 1953 yapımı film arasındaki isim benzerliğinden söz ediyor –çn.

bize istatistiksel mekanik terimleriyle zarif ve ikna edici bir mikroskobik entropi anlayışı sundu. Ama bir sınır koşulu koymamamız durumunda, entropi başlangıçta neden düşüktü? Termodinamiğin İkinci Yasasını açıklamaz. Kırılmamış bir yumurtanın entropisi olabileceğinden çok daha düşüktür, ama yine de böylesi yumurtalar çok sıradandır, çünkü evrenin toplam entropisi olabileceğinden çok daha düşüktür. Ve gözlemleyebileceğimiz başlangıca kadar dönersek bu daha da düşüktü. Burada, mutfağımızda olanlar ebediyette, evrenin başlangıcında olup bitenlerle yakından ilişkilidir.

Galileo, Newton ve Einstein gibi kişiler evvelce takdir edilmeyen fizik yasaları önerdikleri için kutlanıyorlar. Ama başarıları aynı zamanda ortak bir temayı da paylaşıyor. Doğanın *evrenselliğini* aydınlatıyorlar. Burada olanlar her yerde oluyor; Richard Feynman'ın dediği gibi, "tüm evren, yakından bakarsak, bir bardak şarabın içindedir."[2] Galileo gökyüzünün tıpkı burada, yeryüzünde olduğu gibi karışık ve sürekli değişken olduğunu gösterdi; Newton yere düşen elmayı açıklamaya yarayan aynı kütleçekim yasalarının gezegenlerin hareketini de açıklayabileceğini anladı ve Einstein uzay ve zamanın tek bir uzay-zamanın farklı veçheleri olduğunu, uzay-zamanın eğikliğinin Güneş Sisteminin ve evrenin doğumunun altında yattığını idrak etti.

Benzer şekilde, entropi ve zamana egemen olan kurallar da gündelik yaşamımızla çoklu evrenin en uzak köşelerinin ortak kurallarıdır. Henüz bütün yanıtları bilmiyoruz, ama kimi önemli sorularda gelişme kaydetmenin eşiğindeyiz.

YANIT NEDİR?

Bu kitap boyunca, zamanın nasıl işlediği konusunda bildiklerimizi, hem görelilik ve uzay-zamanın pürüzsüz, belirlenimci bağlamında hem de istatistiksel mekaniğin karışık, olasılıkçı dünyasında sevgiyle inceledik. Sonunda kozmolojiye vardık ve en iyi evren kuramlarımızın, evrenin en bariz özelliğiyle karşı karşıya kaldığında nasıl utanç verici biçimde kısa düştüğünü inceledik: erken zamanlar ile geç zamanlar arasındaki entropi farkı. Ardından, on dört bölüm boyunca problemi ortaya koyduktan sonra, tek

[2] Feynman, Leighton ve Sands (1970), 46-8.

bir bölümü olası çözümlere ayırdık ve içlerinden herhangi birini canı gönülden destekleme aşamasına gelemedik.

Bu rahatsız edici görünebilir, ama denge tamamen maksatlıydı. Doğal dünyanın çok kafa karıştırıcı özelliklerini anlamak birçok safhadan geçebilecek bir süreçtir – bir ipucundan tamamen mahrum kalabiliriz, sorunu nasıl ortaya koyacağımızı anlayıp, yanıt üzerine hiçbir iyi fikre sahip olmayabiliriz, birçok mantıklı yanıta sahip olabilir, ama (biri doğruysa) hangisinin doğru olduğunu bilmeyebiliriz ya da hepsini çözmüş olabiliriz. Zaman oku bu seçeneklerden ikincisi ile üçüncüsü arasında bir yerlerdedir – bir sorunu açıkça ortaya koyabilir, ama yanıtın ne olabileceği konusunda yalnızca birkaç müphem fikre sahip olabiliriz.

Böyle bir durumda, olası yanıtlardan herhangi birine fazla bağlanmadan sorunu anlamaya çalışmak uygun olur. Yüz yıl sonra, bu kitabın ilk üç kısmında ele aldıklarımızın çoğunluğu hâlâ ortada duruyor olacaklar. Görelilik sağlam zemindedir, kuantum mekaniği de öyle, istatistiksel mekaniğin çerçevesi de. Hatta, evrenin, en azından Büyük Patlamanın bir dakika kadar sonrasından bugüne kadar olan temel evrimi konusunda da hayli kendimizden eminiz. Ama kuantum kütleçekim, çoklu evren ve Büyük Patlamada neler olduğu konusunda halihazırdaki fikirlerimiz hâlâ hayli spekülatiftir. Sağlam bir anlayışa dönüşebilirler, ama birçoğu tamamen terk edilebilir de. Bu noktada arazinin haritasını anlamak, içinden hangi yolu izleyerek geçeceğimiz konusunda didişmekten daha önemlidir.

Evrenimiz bir denge ardalanı önündeki bir dalgalanma değildir, yoksa başka türlü görünürdü. Ve temel fizik yasalarının mikroskobik düzeyde tersinmez olması da pek olası görünmüyor – yoksa, olsalardı, bunun entropinin evrimini ve evrenimizde gözlemlediğimiz karmaşıklığı açıklaması çok zor olurdu. Zamanın başlangıcına bağlanmış bir sınır koşulundan kurtulmak olanaksızdır, ama bu aynı zamanda sorunu yanıtlamaktansa ondan kaçınmaya yarıyor gibidir. Nihayetinde bu yapabileceklerimizin en iyisi olmuş olabilir, ama erken evrenimizin düşük entropisinin, elimizden kabul etmekten başka hiçbir şeyin gelmediği acı bir olgu değil de daha derinlerdeki bir şeylerin ipucu olduğuna dair çok güçlü kuşkularım var.

Elimizde, gözlemlenebilir evrenimizin çok daha büyük bir yapının, çoklu evrenin bir parçası olma olasılığından başka bir şey

kalmıyor. Görmekte olduğumuzu daha geniş bir bütünün içine yerleştirerek, görünüşte ince ayarlanmış başlangıcımızı, bir bütün olarak çoklu evrene herhangi bir ince ayar dayatmadan açıklama olanağını buluruz. Bu hamle şüphesiz ki yeterli değildir; neden böyle tutarlı bir entropi yükselişi olduğunu ve bizimkine benzer bir evrende neden başka bir şeyin değil de bu yükselişin kendisini gösterdiğini açıklamamız gerekir.

Benim şahsen yakınlık duyduğum özgül bir modeli ele aldık: büyük ölçüde yüksek entropili de Sitter uzayı olan, ama ayrılan bebek evrenler doğuran ve böylece entropinin sınırsızca yükselip yol boyunca çevremizdeki gibi uzay-zaman parçaları yaratılmasına yol açan bir evren. Bu modelin ayrıntıları büyük ölçüde spekülasyona açıktır ve en hafif tabiriyle bilimin şu andaki durumunun hesaplamamıza olanak sağlamadığı yerlere uzanan kabullere dayanır. Sanırım daha da önemlisi, entropinin yükseldiğinin görüldüğü, çünkü entropinin hep yükselebileceğini söyleyen genel paradigmadır; evren için denge durumu yoktur. Bu düzenek doğaldır ki bir entropi yükselişine yol açar ve doğal olarak bir en düşük (ama mutlaka "küçük" olmayan) entropi anı etrafında zamandasimetriktir. Bu genel programı yürütecek başka olası yollar olup olmadığını görmek ilginç olurdu.

Ardalanda dolanan, arada bir varlığını kabul ettiğimiz ama hiçbir zaman dikkatimizi vermediğimiz başka bir yaklaşım daha vardır: bizatihi "zamanın" bizim yerel evrenimiz de dahil olmak üzere, ara sıra yararlı olan ama herhangi bir temel anlamı olmayan bir yaklaştırım olduğu fikri. Bu tamamen meşru bir olasılıktır. Holografik ilkeden alınan derslerin yanında kuantum mekaniğiyle ilgili bir kuramın altta yatan bileşenlerinin klasik rejimde belirenden çok farklı görünebileceğine dair genel bir duygu, zamanın, dünyamızın nihai betimlenmesinin gerekli bir parçası değil de bir ortaya çıkan olgu olabileceğini tasavvur etmeyi hayli mantıklı bir hale getirir.

Zaman yalnızca bir yaklaştırımdır seçeneğinin bu kitapta vurgulanmamış olmasının nedenlerinden biri, en azından şu andaki bilgi düzeyimizde, bu konuda söylenecek fazla bir şey yokmuş gibi görünmesidir. Bizim bir şekilde hoşgörülü standartlarımızla bile zamanın daha temel bir betimlemeden nasıl ortaya çıkabileceği iyi anlaşılan bir şey değildir. Ama daha inandırıcı bir neden de vardır: zaman yalnızca bir yaklaştırım bile olsa, evrenin

gözlemleyebildiğimiz parçasında aşırı iyi gibi görünen bir yaklaştırımdır ve zaman oku sorunu da burada bulunacaktır. Doğru, klasik uzay-zamanın yararlı bir kavram olarak uygulanabilirliği Büyük Patlama yakınlarında tamamen çözülür. Ama bu bize kendi başına, gözlemlenebilir parçamız içinde zamanın (geçmiş olarak adlandırdığımız) o ucundaki koşulların, zamanın diğer ucundaki ("gelecek") koşullardan neden o kadar farklı olmaları gerektiği konusunda bir şey söylemez. "Zaman yalnızca yaklaşık bir kavramdır ve dolayısıyla entropi zaman üzerine konuşmanın geçerli olduğu bir rejimde böyle davranır," demediğimiz sürece, bu seçenek uygulanabilir bir strateji olmaktan çok bir kaçış manevrası gibi gözükür. Ama bu büyük ölçüde bilgisizliğimizin bir ifadesidir; kuşkusuz nihai yanıtın bu yönde olması da mümkündür.

DENEYSEL ÇEMBER

Termodinamiğin öncüleri –Carnot, Clausius ve diğerleri– pratik tutkuların etkisindeydiler; başka şeylerin yanında, daha iyi buhar makineleri yapmak istiyorlardı. Onların içgörülerinden doğrudan bizimkinin ötesindeki evrenlerin yüce spekülasyonlarına geçtik. Can alıcı soru şudur: Nasıl geri döneriz? Evrenimiz, sınırsız entropisi olan bir çoklu evrenin bir parçası olduğu için zaman okuna sahipse bile nereden bilebiliriz ki?

Bilim insanları yaptıklarının *deneysel* doğasından ateşli bir şekilde gurur duyarlar. Bilimsel kuramlar mantıksal ya da güzel olduklarından ya da bilimciler tarafından beğenilen kimi felsefi amaçlara uygun olduklarından dolayı kabul edilmezler. Bunlar, bir kuram *önerilirken* iyi nedenler olabilir – ama kabul edilmek çok daha yüksek bir standarttır. Bilimsel kuramlar, eninde sonunda, verilerle uyum sağlamak zorundadır. Bir kuram özünde ne kadar inandırıcı olursa olsun, verilerle uyum sağlayamazsa, bir ilginçliktir, bir başarı değil.

Ama bu "verilere uyma" kıstası, ilk başta göründüğünden daha kaygan bir zemindir. Birincisi çok farklı birçok kuram veriye uyabilir; bir de çok umut vaat eden bir kuram, özünde doğruluk olsa da var olan haliyle verilere tam anlamıyla uymuyor olabilir. Daha ince bir düzeyde, bir kuram verilere kusursuz uyuyor gibi gözüküp kavramsal bir çıkmaza ya da özündeki bir tutarsızlığa saplanabilirken,

başka biri verilere tam olarak uymasa bile daha kabul edilebilir bir şeye doğru geliştirilme umuduna sahip olabilir. Ne de olsa ne kadar veri toplarsak toplayalım, olası tüm deneylerin yalnızca küçük bir yüzdesini gerçekleştirmiş olacağız. Nasıl seçeceğiz?

Bilimin nasıl yapıldığının gerçeği, birkaç slogana indirgenemez. "Bilimi" "bilim olmayandan" ayırt etme konusu, kendine özgü bir adı olacak kadar alengirli bir iştir: *sınır çekme* [demarcation] *sorunu*. Bilim felsefecileri geceler boyu sınır çekme sorununu çözmenin doğru yolu üzerine tartışarak çok eğlenirler.

Bilimsel kuramın amacının veriyle uyum sağlama olması olgusuna karşın, olası en kötü bilimsel kuram, *olası tüm* verilere uyan kuramdır. Çünkü gerçek amaç sadece evrende gördüklerimizle "uyum sağlamak" değildir; gördüklerimizi açıklamaktır. Ve gördüklerinizi, yalnızca şeylerin neden başka bir şekilde değil de o bulundukları şekilde olduklarını anlayabilirseniz açıklayabilirsiniz. Diğer bir deyişle, kuramınız bazı şeylerin hiç olmadığını söylemek zorundadır – yoksa çok bir şey söylemiş olmazsınız.

Bu fikir, bilimsel bir kuralın önemli özelliğinin "doğrulanabilir" olup olmadığı değil, "yanlışlanabilir" olup olmadığı olduğunu söyleyen Karl Popper tarafından güçlü bir şekilde ortaya konmuştur.[3] Bu kuramı yanlışlayan veriler olduğu anlamına gelmez – yalnızca kuramın açıkça, ilkesel olarak gerçekleştirilebileceğini tasavvur edebileceğimiz kimi deneylerle karşı çıkılabilecek öngörülerde bulunduğu anlamına gelir. Kuram kafasını dışarı uzatmak zorundadır; yoksa bilimsel değildir. Popper'in aklında Karl Marx'ın tarih kuramı ve Sigmund Freud'un psikanaliz kuramı vardı. Bu etkili entelektüel inşalar, onun gözünde, destekçilerinin iddia etmekten hoşlandıkları bilimsel statüye erişemiyorlardı. Popper dünyada olmuş herhangi bir şeyi ya da bir insan tarafından gösterilen herhangi bir davranışı alıp, bu verilere Marx ya da Freud'a dayanarak bir "açıklama" getirebileceğinizi hissediyordu – ama herhangi bir gözlemlenmiş olaya bakıp, "Aha, işte bunu o kuramlarla uyumlu hale getirmek mümkün değildir," diyemezdi-

[3] Popper (1959). Popper'in sınır çekme sorununun da ötesine geçtiğine dikkat edin; tüm bilimsel ilerlemeyi bir yanlışlanmış tahminler dizisi olarak anlamak istiyordu. Bilimin fiilen nasıl yapıldığıyla karşılaştırıldığında, bu süreci anlamanın hayli cılız bir yoludur; tahminleri saf dışı bırakmak önemlidir, ama bilimin gerçek işleyişinde bundan çok daha ötesi vardır.

niz. Bunları, Einstein'ın sokaktaki insana aynı düzeyde açıklanamaz ve esrarengiz gelen ama (deneylerin farklı sonuç vermesi durumunda) kuramı yanlışlayabilecek çok kesin öngörülerde bulunan görelilik kuramıyla karşılaştırıyordu.

ÇOKLU EVREN BİR KURAM DEĞİLDİR

Bunlar, çoklu evreni nereye oturtur? İşte buradayız, bilim yaptığımız iddiasındayız ve evrenimizde gözlemlenen zaman okunu sonsuz gözlemlenemez başka evrenler kalabalığını işin içine sokarak açıklamaya çalışıyoruz. Başka evrenlerin var olduğu iddiası nasıl yanlışlanabilir? Bu türden gözlemlenemez şeyler üzerine spekülatif kuramlaştırmaların kimi bilim insanlarının ağzında acı bir tat bırakması şaşırtıcı değildir. Eğer yanlışlayabilecek bir deney tasavvur edebileceğim bir öngörüde bulunmuyorsanız, yaptığınız bilim değildir derler. En iyi koşullarda felsefedir, üstelik pek o kadar iyi felsefe de değildir.

Ama genellikle olduğu gibi, gerçek bundan biraz daha karmaşıktır. Tüm bu çoklu evren laflarının çıkmaza girmesi mümkündür. Yüz yıl sonra, ardıllarımız Büyük Patlamadan önce ne olduğunu bulma yolunda harcanan tüm bu entelektüel çabalara başlarını sallayabilirler, tıpkı bizim simya ya da kalorik ısı kuramı konusunda harcanan çabaya baktığımız gibi. Ama bunun nedeni modern kozmologların bilimin gerçek yolundan çıkmış olmaları olmayacaktır; bu (işler oraya gelirse) sadece kuram yanlış olduğu için olacaktır.

Bilimde gözlemlenemez şeylerin rolü konusunda iki noktanın altını çizmekte yarar vardır. Birincisi bilimin amacını yalnızca verileri uyuşturmak olarak düşünmek yanlıştır. Bilimin amacı bundan çok daha derinlere iner: doğal dünyanın davranışlarını *anlamaktır*.[4] On yedinci yüzyılın başlarında, Johannes Kepler, ustası Tycho Brahe tarafından toplanan kapsamlı astronomi verilerini isabetli bir şekilde doğrulayan üç gezegen hareketi yasasını önerdi. Ama Isaac Newton tüm bunların kütleçekimde basit bir ters kare yasasıyla açıklanabileceğini gösterene kadar Güneş Sistemi içindeki gezegenlerin dinamiğini gerçekten anlayamadık. Benzer şekilde, gözlemlenebilir evrenimizin evrimini anlamak için Büyük

[4] Bu konuda daha fazlası için, *bkz*. Deutsch (1997).

Patlamanın ötesine bakmamıza gerek yoktur; tüm yapmamız gereken, erken zamanlarda koşulların neye benzediğini belirtmek ve orada kesmektir. Ama bu, işlerin neden olmuş oldukları gibi olduğu üzerine bir anlayışa sahip olmamızı engeller.

Benzer bir mantık şişme kuramının gerekliliğine karşı da öne sürülebilirdi; şişmenin tek yaptığı evren üzerine zaten bildiğimiz şeyleri (düzlük, tekbiçimlilik, monopollerin yokluğu) alıp, bunları basit altta yatan kurallarla açıklamaya çalışmaktır. Bunu yapmamız gerekmiyordu; işleri oldukları gibi kabul edebilirdik. Ama daha iyisini yapma arzumuzun, sadece kabul etmektense erken evreni anlamaya çalışmanın bir sonucu olarak, şişmenin istediğimizden de fazlasını verdiğini keşfettik: galaksiler ve büyük çaplı yapıları oluşturan ilksel tedirgemelerin kökeni ve doğası için bir kuram. Bu, verilere uyum sağlamakla yetinmek yerine anlayış arayışının faydasıdır: Gerçek anlayış sizi gitmek istediğinizi bilmediğiniz yerlere götürür. Bir gün erken evrenin neden düşük bir entropiye sahip olduğunu anlarsak, yüksek olasılıkla altta yatan mekanizma bize bu bir tek olgudan fazlasını öğretecektir.

İkinci nokta sıradan gibi gözükse de aslında daha önemlidir: bilim karışık ve karmaşık bir iştir. Bilimin temelinin deneysel bilgi olduğu gerçeği hiç değişmeyecektir; rehberimiz veridir, saf akıl değil. Ama verinin rehberliğinde ilerlemenin yolları boyunca, modeller inşa etmekte ve bunları birbirleriyle karşılaştırmakta her türden deneysel olmayan ipucu ve tercihleri kullanırız. Bunda yanlış bir şey yoktur. Son ürünün veriyi nasıl açıkladığı temelinde yargılanacak olması, yol boyunca her adımın deneyle yakından ve ayrıntılı bir temas durumunda olacağı anlamına gelmez.

Daha özgül olarak: Çoklu evren bir "kuram" değildir. Olsaydı, o zaman olası deneysel sınamalara tâbi tutmaktaki zorluklar temelinde eleştirmek adil olurdu. Çoklu evren konusunda düşünmenin doğru yolu, bir *öngörü* olduğudur. Kuram –şu andaki gelişmemiş haliyle– kuantum alan kuramının arkasındaki ilkelerle eğik uzayın nasıl çalıştığı üzerine temel anlayışımızın evliliğidir. Bu girdilerden başlayarak evrenin erken bir süper hızlı süratlenme dönemi geçirdiğini kuramlaştırmıyoruz; doğru özelliklere sahip bir kuantum enflaton alanı kendini doğru durumda bulursa, şişmenin gerçekleşeceğini *öngörüyoruz*. Benzer şekilde, sadece "Sonsuz sayıda farklı evren olursa, ne kadar da yakışıklı olur değil mi?"

demiyoruz. Doğrusu, kütleçekim ve kuantum alan kuramının akılcı dışdeğerlemesi temelinde bir çoklu evrenin gerçekten de var olması gerektiğini öngörüyoruz.

Bir çoklu evrende yaşadığımız öngörüsü, bildiğimiz kadarıyla sınanamaz. (Ama, kim bilir? Bilim insanları evvelce de çok akıllıca fikirler çıkarttılar.) Ama bu konuyu saptırır. Çoklu evren daha büyük, daha kapsamlı bir yapının bir parçasıdır. Soru, "Bir çoklu evren olup olmadığını nasıl sınayabiliriz?" değil, "Çoklu evrenin var olması gerektiğini öngören kuramları nasıl sınayabiliriz?" olmalıdır. Şimdilik, bu kuramları yanlışlanabilir bir öngörüde bulunmak için nasıl kullanacağımızı bilmiyoruz. Ama ilkesel olarak bunu yapamayacağımızı düşünmek için bir neden yok. Bu fikirleri, sınanabilir öngörülerin, varsalar ne olabileceğini söyleyebileceğimiz bir noktaya getirmek için kuramsal fizikçilerin daha çok çalışması gerekiyor. Bu öngörülerin en baştan doğrudan önlerine konmadığı için kimileri *sabırsızlanıyor* olabilir – ama bu kişisel bir tercihtir, ilkeli bir felsefi duruş değil. Umut vaat eden bir bilimsel fikrin adil biçimde yargılayabileceğimiz kadar beslenip gelişmesi bazen zaman alır.

MANTIK DIŞI BİR EVRENDE ANLAM PEŞİNDE

Tarih boyunca, insanlar (doğal olarak) evreni insan-merkezli terimlerle ele almışlardır. Bu, bizi evrenin coğrafi merkezine koymak gibi lafzi bir anlama da gelebilir – bu üstesinden gelinmesi hayli çaba gerektiren bir kabul olmuştur. Güneş Sisteminin günmerkezli modeli geniş kabul görmeye başladığından bu yana, bilim insanları Kopernik İlkesini –"evrende ayrıcalıklı bir yer işgal etmiyoruz"– kendimize ayrıcalıklı muamele etmeye karşı bir uyarı olarak kullanıyorlar.

Ama daha derin bir düzeyde, insanmerkezciliğimiz insanın bir şekilde evren için *önem* arz ettiği yolunda bir inanış olarak kendini gösterir. Birçok çevrede Darwin'in doğal seçim kuramının Yeryüzünde yaşamın evrimi için doğru açıklama olduğunun kabul edilmesine karşı direncin çekirdeğinde bu duygu vardır. Bizim önem arz ettiğimizi düşünme dürtüsü bizim (ya da bizim bir altkümemizin) Tanrı'nın seçilmiş halkı olduğu gibi açık bir inanç ya da çevremizdeki tüm bu muhteşem dünyanın bir *kaza* sonucu

meydana gelmiş olamayacağında ısrarcı olmak kadar müphem bir şey biçimini alabilir.

Farklı insanların farklı Tanrı tanımları ya da insan yaşamının nominal amacının ne olabileceği üzerine farklı mefhumları vardır. Tanrı o kadar soyut ve aşkın kavram olabilir ki, bilimin yöntemlerinin konu üzerine söyleyeceği bir şey olamaz. Tanrı doğayla, fizik yasalarıyla ya da evreni düşünürken kapıldığımız dehşet duygusuyla özdeşleştirilirse, böylesi bir kavramın dünyayı düşünmek üzerine yararlı bir şey sağlayıp sağlayamayacağı deneysel incelemenin kapsamı dışındadır.

Ama Tanrı için fiziksel evrenin işleyişinde kanıtlar arayan çok farklı bir gelenek vardır. Bu doğal ilahiyatın yaklaşımıdır ve Aristoteles'in çok öncesinden, William Paley'in saatçi benzetmesinden geçerek günümüze kadar uzanır.[5] Bir zamanlar tasarlanma savı lehine en iyi kanıt canlı organizmalardan geliyordu, ama Darwin evvelce açıklanamaz kabul edilenleri açıklamak için zarif bir mekanizma önerdi. Buna yanıt olarak, bu felsefeye bağlı olanlar odak noktalarını görünürde açıklanamaz başka şeye çevirdiler: yaşamın kökenlerinden kozmosun kökenlerine.

Büyük Patlama modeli, tekil başlangıcıyla, evrenin yaradılışında Tanrı'nın parmağını arayanlara cesaret veriyor gibidir. (Büyük Patlama modelini geliştiren Belçikalı papaz George Lemaître, bunu herhangi bir ilahi amaca bağlamayı reddetmişti: "Görebildiğim kadarıyla, böylesi bir kuram herhangi bir metafizik ya da dinsel sorunun tamamen dışında kalır."[6] Newtoncı uzay-zamanda, evrenin yaratılması diye bir şey en azından belli bir anda gerçekleşen bir olay olarak hiç yoktu; zaman ve uzay ebediyen varlardı. Uzay-zamana belli bir başlangıcın, özellikle kolay anlaşılmaya görünürde meydan okuyan bir başlangıcın getirilmesi, olup bitenlerin sorumluluğunu Tanrı'nın eline teslim etme yolunda bir cazibe oluşturdu. Şüphesiz, diyordu akıl yürütme, bir andan diğerine evrenin evrimine kumanda eden dinamik yasalar bulabilirsiniz, ama evrenin yaradılışını açıklamak evrenin dışında bir şeye başvurmayı gerektirir.

Umuyorum ki, bu kitabın örtülü derslerinden biri, bilimin doğal dünyanın, başlangıcı da içinde olmak üzere herhangi bir işleyişini açıklayamayacağına dair bahse girmenin pek de iyi bir fikir

[5] Birçokları arasında bir örnek için, *bkz.* Swinburne (2004).
Lemaitre (1958).

olmadığıdır. Büyük Patlama, 1920'lerde ilk incelendiğinde, anlayışımızın ötesine uzanmadığı bir noktayı temsil ediyordu – bugün de bu devam ediyor. 14 milyar yıl önce ne olduğunu tam olarak bilmiyoruz, ama eninde sonunda bulacağımızdan kuşku duymak için herhangi bir neden de yok. Bilim insanları sorunu çeşitli açılardan ele alıyorlar. Bilimsel anlayışın ilerleme hızını öngörmek özellikle zordur, ama ilerleyeceğini öngörmek zor olmaz.

Bu bizi nereye götürmüştür? Giordano Bruno sonsuz sayıda yıldız ve gezegen bulunan bağdaşık bir evren olduğunu öne sürmüştü. İbni Sina ve Galileo, momentumun korunumu ile hareketin sürekliliğini açıklamak için bir Başlangıç Nedeninin gerekliliğini yok ettiler. Darwin türlerin gelişimini doğal seçimle oluşan, rastgele değişikliklerle hedefsiz bir soy süreci olarak açıkladı. Modern kozmoloji gözlemlenebilir evrenimizin büyük bir çoklu evren bütünü içindeki sonsuz sayıda evrenden biri olabileceğini söylüyor. Dünyayı daha fazla anladıkça, biz daha küçük ve onun işleyişi için daha önemsiz gibi görünüyoruz.[7]

Bunun bir mahsuru yok. Kendimizi, kozmosun yaşamında merkezi bir oyuncu olarak değil, Büyük Patlamadan gelecekteki evrenin sessiz boşluğuna doğru giderek artan bir entropi dalgasına binmiş, kısa bir süreliğine parlayan minik bir ikincil belirti olarak bulduk. Doğanın yasalarında ya da işleri böylece ayarlamış olan herhangi bir dış unsurun planlarında amaç ve anlam bulunmaz; bunları yaratmak bizim işimiz. Bu amaçlardan –birçoklarının arasında– biri çevremizdeki dünyayı yapabildiğimiz kadarıyla açıklama dürtüsünden kaynaklanır. Yaşamlarımız kısa ve hedefsizse, en azından bizden çok daha yüce şeyleri anlama mücadelemizdeki karşılıklı cesaretimizden gurur duyabiliriz.

SONRAKİ ADIMLAR

Zaman üzerine berrak bir şekilde düşünmek şaşırtıcı düzeyde zordur. Hepimiz ona aşinayız, ama sorun da *fazla* aşina olmamız olabilir. Zaman okuna o kadar alışkınız ki, zamanı ok olmadan kavramlaştırmak zor olur. Hiç itiraz etmeden zamansal şovenizme, geleceğin terimleri karşısında halihazırdaki durumu geçmişin terimlerine göre önyargılı açıklamaya yöneltiliriz. İyi eğitim almış profesyonel kozmologlar bile bundan azade değildir.

[7] Steven Weinberg daha da doğrudan söyler: "evren daha anlaşılır gözüktükçe, o kadar da amaçsız görünür." (Weinberg 1977, 154).

Zamanın doğası üzerine bütün saçılan mürekkebe ve tartışmalarda üretilen gürültüye karşın, konunun çok fazla değil, çok az tartışıldığını öne sürüyorum. Ama insanlar arayı kapatıyor gibiler. Zaman, entropi, bilgi ve karmaşıklığın iç içe geçen konuları şaşırtıcı sayıda entelektüel disiplini bir araya getiriyor: fizik, matematik, biyoloji, psikoloji, bilgisayar bilimleri, sanat. Zamanı ciddiye almamızın ve meydan okumalarını doğrudan karşılamamızın vakti gelmiştir.

Fizikte, bu olmaya başladı. Yirminci yüzyılın büyük bölümünde, kozmoloji alanı biraz ikinci plandaydı; birçok fikir ve bunları ayırt edecek çok az veri vardı. Yeni teknolojilerin mümkün kıldığı büyük çaplı araştırmaların sürüklediği bir hassas kozmoloji dönemi tüm bunları değiştirdi; evrenin hızlanmasından kozmik mikrodalga ardalanı tarafından sağlanan erken zamanların görüntülerine, hiç beklenmeyen harikalar ortaya çıkartıldı.[8] Şimdi fikirlerin gerçekleri yakalama zamanı. Şişmeden, kuantum kozmolojisinden ve sicim kuramından, evrenin nasıl başlamış olabileceği ve öncesinde nelerin olmuş olabileceği üzerine ilginç önerilerimiz var. Görevimiz bu umut vaat eden fikirleri, deneylerle karşılaştırılabilecek ve fiziğin geri kalanıyla uzlaştırılabilecek doğru dürüst kuramlara dönüştürmek.

Geleceği öngörmek kolay değildir. (Düşük entropili gelecek sınır koşullarına lanet olsun!) Ama bilimin, geçmiş ve gelecek üzerine kadim sorulara yanıt vermek yolunda dramatik adımlar atması için parçalar bir araya gelmiştir. Ebediyet içinde yerimizi anlamanın zamanı geldi.

---

[8] Bu kitabın temel fizikteki halihazır ve gelişen yeni deneylere çok az dikkat harcaması beni üzüyor. Sorun şu ki, bu deneyler ne kadar büyüleyici ve önemli olurlarsa olsunlar, onlardan ne öğrenebileceğimizi önceden bilmek olanaksız, özellikle de zaman oku gibi her şeyi kapsayan ve derin bir konuda. Ne yazık ki başka evrenleri gözlemleyebilmek için takyonları kullanacak teleskoplar yapamayacağız. Yapabilecek olduğumuz, süpersimetri üzerine bir şeyler ortaya çıkartacak parçacık hızlandırıcılardır, bunlar da bize sicim kuramı üzerine bir şeyler öğretecek ve bunları da kuantum kütleçekimi daha iyi anlamakta kullanabileceğiz. Ya da evrenin evrimi üzerine şaşırtıcı bir şeyler ortaya çıkartacak olan –yalnızca ışık fotonlarını değil, kozmik ışınları, nötrinoları, kütleçekim dalgalarını hatta kara madde parçacıklarını da görebilen– dev teleskoplardan veri toplayabiliriz. Gerçek dünya bizi hep şaşırtıyor: kara madde ve kara enerji bariz örnekler. Kuramsal fizikçi olarak, bu kitabı daha çok kuramsal bir perspektiften yazdım, ama tarih de gösteriyor ki, dogmatik uykumuzdan bizi uyandıran genellikle yeni deneyler oluyor.

EK: MATEMATİK

Lloyd: Yani yüzde bir kadar bile değil mi?
Mary: Daha çok milyonda bir derim.
[Duraklama]
Lloyd: Yani bir şansımız var mı demek istiyorsun?

—Jim Carrey ve Lauren Holly,
Dumb and Dumber (Salak ile Avanak)

Ana metinde cesurca bir avuç denklem verdim – Einstein'dan birkaç denklem, farklı bağlamlarda da entropi için birkaç ifade. Bir denklem, güçlü, tılsımlı bir nesnedir, olağanüstü sıkışık bir notasyona muazzam bilgi yükler. Bir denkleme bakıp doğal dünyanın belli bir özelliğinin güçlü bir ifadesinin sonuçlarını anlamak çok yararlı olabilir.

Ama gerçekleri kabul edelim – denklemler korkutucu olabilir. Bu ek, entropiyi nicel bir düzeyde betimlemekte kullanılan kilit matematiksel fikirler olan üstel sayılar ve logaritma üzerine hızlı bir giriştir. Buradakilerin hiçbiri kitabı gerçekten anlamak için gerekli değildir; kitabın neresinde *logaritma* sözcüğünü görürseniz, sadece cesaretinizi toplayıp devam edin.

ÜSTELLER

Bu iki işlem –üsteller ve logaritmalar– tam anlamıyla anlaması birbirleri kadar zor ve kolaydır. Doğrusu, onlar birbirlerinin karşıtıdır; bir işlem diğerinin yaptığını bozar. Bir sayıyla başlar, üstelini alır, sonra da sonucun logaritmasını alırsak, başladığımız özgün sayıyı elde ederiz. Yine de gündelik yaşamımızda üstel sayılarla daha çok karşılaşırız, bu yüzden biraz daha tedirgin edici görünürler. Onlarla başlayalım.

Üsteller *taban* adı verilen bir sayıyı alır ve başka bir sayının kuvvetine yükseltir. Bununla basitçe şunu demek istiyoruz: ta-

banı kuvvet tarafından belirlenen kadar kendi kendisiyle çarpın. Bazı basit örnekler:

$2^2 = 2 \times 2 = 4$
$2^5 = 2 \times 2 \times 2 \times 2 \times 2 = 32$
$4^3 = 4 \times 4 \times 4 = 64$

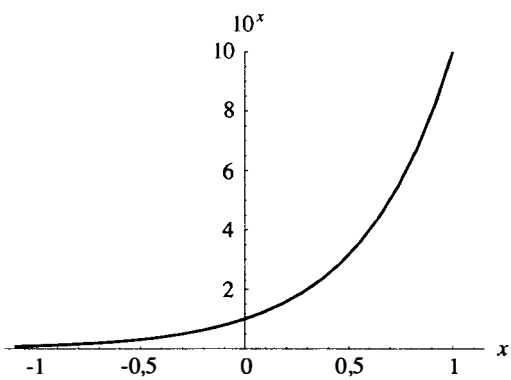
En kolay durumlardan biri, tabanı 10 olarak aldığımızda olur; bu durumda, kuvvet sadece birin yanındaki sıfır sayısını gösterir.

$10^1 = 10$,
$10^2 = 100$
$10^9 = 1.000.000.000$
$10^{21} = 1.000.000.000.000.000.000.000.$

Üst alma fikri budur. Daha özgül olarak üstel *fonksiyondan* söz ettiğimizde, aklımızda olan belli bir tabanı sabitleyip onun üssünü alacağımız kuvveti değişken bir nicelik yaparız. Tabana a, kuvvete de n dersek, şu olur:

$a^n = a \times a \times a \times a \times a \times a \times a \ldots \times a$, n kere

Bu tanım, ne yazık ki, sizde üstel fonksiyonun yalnızca n pozitif bir tam sayıyken anlam ifade edeceği izlenimi uyandırır. Bir sayıyı kendi kendisiyle nasıl eksi iki kez ya da 3,7 kez çarpabilirsiniz ki? Burada, matematiğin sihrinin n'nin herhangi bir değeri için üsteli tanımlamamızı sağladığına inanmanız gerekir. Sonuç, Şekil 88'de görüldüğü gibi, n negatifken çok küçük olan ve n pozitif olduğunda hızla yükselen düzgün bir fonksiyondur.



Şekil 88: 10^x üstel fonksiyonu. Çok hızlı yükseldiğine ve bu yüzden de x'in büyük değerlerinde eğriyi çizmenin pratik olmaktan çıktığına dikkat edin.

Üstel fonksiyon üzerine akılda tutulması gereken birkaç şey var. 0'ın üsteli taban ne olursa olsun 1 olur, 1'in üsteli de tabanın kendisine eşittir.

$10^0 = 1$,
$10^1 = 10$.

Negatif bir sayıyı üstel alırsak, aynı sayının pozitif üstelli tersini elde ederiz:

$10^{-1} = 1/10^1 = 0{,}1$,
$10^{-3} = 1/10^3 = 0{,}001$.

Bu olgular üstel fonksiyonun uyduğu daha genel bir özellikler kümesinin özgül örnekleridir. Bu özelliklerden biri olağanüstü önemlidir: aynı tabanın farklı kuvvetlere yükseltilmiş durumu olan iki sayıyı *çarparsak*, bu iki kuvvetin *toplanıp* tabanın bu sonuca yükseltilmesiyle elde edilen sayıya eşittir. Yani:

$10^x \times 10^y = 10^{(x+y)}$

Başka bir deyişle, bir toplamın üstel ifadesi, iki üstelin çarpımına eşittir.[1]

BÜYÜK SAYILAR

Üstel fonksiyonun neden yararlı olduğunu görmek zor değildir. Üzerinde çalıştığımız sayılar bazen gerçekten de çok büyük oluyor ve üsteller orta boy bir sayıyı alıp bundan çok büyük bir sayı yaratıyorlar. On Üçüncü Bölümde gördüğümüz gibi, birlikte hareket eden evren parçamızın olası kurulumlarını betimlemek için gerekli ayrı durumların sayısı yaklaşık şudur:

[1] Bu özellikler, yukarıda sözü edilen "matematiğin sihrinin" ardındadır. Örneğin diyelim ki 10'un 0,5'inci kuvvetini bulmak istiyoruz. Biliyorum ki, bu sayı ne olursa olsun, $10^{0.5} \times 10^{0.5} = 10^{(0.5+0.5)} = 10^1 = 10$ özelliğine sahip olmalıdır. Diğer bir deyişle, $10^{0.5}$ sayısını kendi kendisiyle çarparsak 10 çıkar. Yani $10^{0.5}$ sadece 10'un karekökü dür. (0,5 kuvvetine yükseltilen tüm tabanlar için de aynısı geçerlidir.) Benzer numaralarla istediğimiz tüm sayıların üstelini hesaplayabiliriz.

$10^{10^{120}}$

Bu sayı o kadar muazzam, tasavvur edilemeyecek kadar büyüktür ki, üstel sayılara başvurmadan bunu betimlemeye nereden başlayacağımızı bilemeyiz.

Bu sayının ne kadar devasa olduğunu değerlendirebilmek için, başka bazı büyük sayıları ele alalım. Bir milyar 10^9, bir trilyon 10^{12} yapar; bunlar iktisat ve devlet harcamalarında çok aşina sayılar olmuştur. Gözlemlenebilir evrenimizdeki parçacık sayısı 10^{88}'dir bu aynı zamanda erken zamanlardaki entropiye eşittir. Şimdi kara deliklerimiz olduğuna göre, gözlemlenebilir evrendeki entropi 10^{101} gibi bir şeydir ve 10^{120} kadar yükselebileceği düşünülebilir. (Söz konusu 10^{120} aynı zamanda öngörülen vakum enerjisinin gözlemlenen yoğunluğa oranıdır.)

Karşılaştırma açısından, bir fincan kahve gibi bir makroskobik nesnenin entropisi yaklaşık 10^{25} olur. Bu bir gram hidrojendeki atomların yaklaşık sayısı olan Avogadro sayısıyla yani 6,02 x 10^{23}'le ilişkilidir. Yeryüzünün tüm kumsallarındaki kum tanelerinin sayısı yaklaşık 10^{20}'dir. Tipik bir galaksideki yıldız sayısı 10^{11} dolaylarındadır, gözlemlenebilir evrendeki galaksi sayısı da yine 10^{11} dolaylarındadır, bu yüzden gözlemlenebilir evrendeki yıldız sayısı da 10^{22} olur – yeryüzündeki kum tanelerinin sayısından biraz fazla.

Fizikçilerin kullandığı temel birimler zaman, uzunluk, kütle ya da bunların bileşimidir. En kısa ilginç zaman, yaklaşık 10^{-43} saniye olan Planck zamanıdır. Şişmenin 10^{-30} saniye ya da daha az sürdüğü tahmin edilmektedir, ama bu sayı aşırı belirsizdir. Evren, Büyük Patlamadan yaklaşık 100 saniye sonra proton ve nötronlardan helyum yaratmış ve bundan 380.000 yıl sonraki (10^{13} saniye) yeniden birleşme zamanında saydamlaşmıştır. Gözlemlenebilir evren şimdi 14 milyar yaşındadır, yaklaşık 4 x 10^{17} saniye. Takriben 10^{100} yıl kadar sonra, tüm kara delikler büyük ölçüde buharlaşmış olacak ve geriye soğuk, boş bir evren kalacaktır.

En küçük uzunluk yaklaşık 10^{-33} santimetre olan Planck uzunluğudur. Bir protonun büyüklüğü yaklaşık 10^{-13} santimetredir, bir insanın boyu da yaklaşık 10^2 santimetre. (Bu bir hayli kısa bir insan oldu, ama burada kabaca boyutlar veriyoruz.) Yerküre ile Güneş arasındaki uzaklık yaklaşık 10^{13} santimetredir; en yakın yıldı-

zın uzaklığı 10^{18} santimetredir ve gözlemlenebilir evrenin boyu da yaklaşık 10^{28} santimetredir.

Planck kütlesi yaklaşık 10^{-5} gramdır – bu tek bir parçacık için olağanüstü ağırdır, ama makroskobik standartlarda öyle değildir. Sıfırdan farklı kütleye sahip en hafif parçacıklar nötrinolardır; kütlelerinin ne olduğunu kesin olarak bilmiyoruz, ama en hafifi 10^{-36} grammış gibi gözüküyor. Bir proton yaklaşık 10^{-24} gram, bir insan da yaklaşık 10^{5} gramdır. Güneş yaklaşık 10^{33} gram, bir galaksi 10^{45} gram, gözlemlenebilir evrendeki kütle de 10^{56} gramdır.

LOGARİTMA

Logaritma fonksiyonu dünyadaki en kolay şeydir: üstel fonksiyonu geri çevirir. Yani 10^{x} olarak ifade edebileceğimiz bir sayımız varsa –ve her pozitif sayı böyle ifade edilebilir– o sayının logaritması şöyle olur:

$\log(10^{x}) = x$.

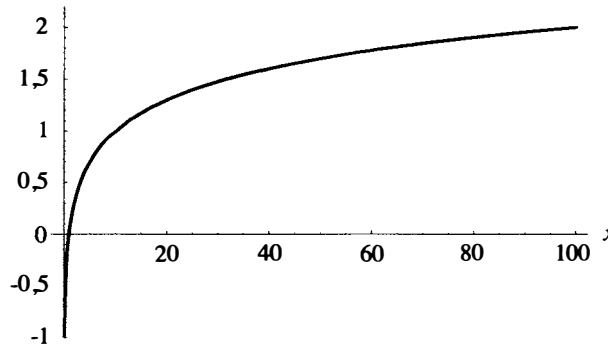
Daha basit ne olabilir ki? Benzer şekilde, üstel de logaritmayı geri çevirir:

$10^{\log(x)} = x$.

Bu konuda başka bir düşünme yolu da şöyledir: bir sayı 10'un kusursuz bir kuvvetiyse (10, 100, 1000 vs gibi), logaritma sadece baştaki 1'in sağındaki sıfır sayısıdır:

$\log(10) = 1$,
$\log(100) = 2$,
$\log(1000) = 3$.

Ama üstelde olduğu gibi, logaritma da Şekil 89'da da göreceğiniz gibi, aslında düzgün bir fonksiyondur. 2,5'in logaritması yaklaşık 0,3979; 25'in logaritması yaklaşık 1,3979; 250'nin logaritması 2,3979 vs olur. Tek kısıtlama, negatif bir sayının logaritmasını alamayacak olmamızdır; bu da anlamlıdır, çünkü logaritma üstel fonksiyonu tersine çevirir ve üst alarak hiçbir zaman negatif bir sayı elde *edemeyiz*. Kabaca, büyük sayılar için logaritma sadece "sayıdaki hane sayısıdır."



Şekil 89: Logaritma fonksiyonu log(x). x'in eksi değerleri için tanımlanmamıştır ve x sağdan sıfıra yaklaşırken logaritma eksi sonsuza gider.

Bir toplamın üstelinin üstellerin çarpımı olması gibi, logaritmanın da benzer bir özelliği vardır: bir çarpımın logaritması, logaritmaların toplamıdır. Yani:

$\log(x.y) = \log(x) + \log(y)$

Logaritmayı entropi çalışmasında yararlı kılan, işte bu sevimli özelliktir. Sekizinci Bölümde gördüğümüz gibi, entropinin bir fiziksel özelliği, bir araya gelen iki sistemin entropisi, tek tek iki sistemin entropilerinin toplamıdır. Ama birleşik sistemin olası durumlarının sayısını, tek tek iki sistemin durumlarının sayısını çarparak elde edersiniz. Bu yüzden Boltzmann entropinin durumların sayısı değil, durumların sayısının logaritması olduğu sonucuna varmıştı. Dokuzuncu Bölümde, bilgi için de benzer bir öykü anlatıyoruz:

Shannon, iki bağımsız mesajda taşınan toplam bilginin her bir mesajdaki bilgilerin toplamına eşit olduğu bir bilgi ölçüsü istiyordu, bu yüzden o da logaritma alması gerektiğini fark etti.

Daha formal olmayan şekilde, logaritmanın büyük sayıları alıp onları işlenebilir boyutlara indirgemek gibi güzel bir özelliği vardır. Trilyon gibi havaleli bir sayının logaritmasını aldığımızda, 9 gibi güzel bir sayı elde ederiz. Logaritma tekdüze bir fonksiyondur – logaritmasını aldığımız sayı yükseldikçe, logaritma da yükselir. Böylece logaritma bir sayının ne kadar büyük olduğunun özgül bir ölçüsünü verir, ama çok büyük sayıları mantıklı bir boya

küçültür ki bu da kozmoloji, istatistiksel mekanik hatta iktisat gibi alanlarda çok yardımcı olur.

Son bir can alıcı ayrıntı da üstel gibi, logaritmanın da farklı tabanlarda olabilmesidir. Bir x sayısının "b tabanlı logaritması" b sayısını x elde etmek için yükseltmemiz gereken sayıdır. Yani:

$\log_2(2^x) = x,$
$\log_{12}(12^x) = x,$

diye gider. Tabanı açıkça yazmadığımızda, bunu 10 olarak alırız, çünkü bu insanların çoğunun sahip olduğu parmak sayısıdır. Ama bilim insanları ve matematikçiler genellikle garip görünen tercihler ve kullanımlar yapmaktan hoşlanırlar: Çoğunlukla ln(x) olarak yazılan doğal logaritma kullanırlar, burada taban Euler sabitidir:

$\ln(x) = \log_e(x),$
$e = 2{,}7182818284.....$

Euler sabiti, pi ya da ikinin karekökü gibi irrasyonel bir sayıdır, yani yukarıdaki açık durumu sonsuza kadar gider. İlk bakışta bu birisinin logaritmanın tabanı olarak seçmesi için sapıkça bir tercih gibi görünür. Ama matematiğin derinliklerine bir dalarsanız, aslında e'nin birçok güzel özelliği vardır; örneğin kalkülüste e^x fonksiyonu kendi türevine ve integraline eşit olan (bütün değerleri sıfır olan önemsiz fonksiyon dışında) tek fonksiyondur. Bu kitapta bütün logaritmalarımız 10 tabanlıdır, ama daha yüksek düzeyde fizik ya da matematiğe girerseniz, hep doğal logaritma kullanılır.

KAYNAKÇA

Not: Bu kaynakçada verilenlerin birçoğuna metin içinde atıfta bulunulmuştur, ama birçoğuna da bulunulmamıştır. Bazıları burada sunulan bakış açısının şekillenmesinde etkili olmuştur; diğerleri karşı savları tartışılan örneklerdir. Bazıları bu kitabın konusu dahilinde teknik ayrıntılar sağlayan araştırma makaleleriyken, kimileri de herkesin anlayacağı düzeyde ek ardalan bilgisi sağlar. Hepsi ilginçtir.

Zaman oku üzerine en gözde kitaplarım arasında, David Albert'ten *Time and Chance*, Huw Price'tan *Time's Arrow and Archimedes' Point*, Brian Greene'den *The Fabric of the Cosmos* ve Michael Lockwood'dan *The Labyrinth of Time* sayılabilir. Bunların herhangi biri burada anlatılanlara ek bir görüş sunabilir. Etienne Klein'dan *Chronos*, Craig Callender'dan *Introducing Time* ve Paul Davies'ten *About Time* zaman konusunu daha derinlemesine inceler. Genel görelilik konusunda ardalan sağlamak için Kip Thorne'den *Black Holes and Time Warps* kara delikler ve özellikle bilgi kaybı konusunda da Leonard Susskind'den *The Black Hole War*'u öneririm. Kozmoloji konusunda Dennis Overbye'ın *Lonely Hearts of the Cosmos* ya da Alan Guth'dan *The Inflationary Universe*'ü öneririm. *David Lindley'in Boltzmann's Atom* ve Hans Christian von Baeyer'in *Warmth Disperses and Time Passes* adlı çalışmalarının yanında, Stephen Brush'ın özgün makaleler antolojisi de büyüleyici tarihsel ardalan sağlar. Zeh'in *The Physical Basis of the Direction of Time* konuyu teknik düzeyde ele alır.

Modern (1992 sonrası) araştırma makalelerinin birçoğu http://arxiv.org/ adresindeki arXiv fizik önbaskı sunucusundan ücretsiz indirilebilir.

Kitabın web sayfası http://eternitytohere.com adresinde daha fazla bağlantı ve kaynak bulunabilir.

Abbot, E. A. *Flatland: A Romance of Many Dimensions.* Cambridge: Perseus, 1899.

Adams, F. ve Laughlin, G. *The Five Ages of the Universe: Inside the Physics of Eternity.* New York: Free Yayınları, 1999.

Aguirre, A. ve Gratton, S. "Inflation Without a Beginning: A Null Boundary Proposal." *Physical Review D* 67 (2003): 083515.

Aguirre, A. ve Johnson, M. C. "Two Tunnels to Inflation." *Physical Review D* 73 (2006): 123529.

Alavi-Harati, A., et al. (KTeV Collaboration). "Observation of CP Violation in KL → $\pi^+\pi^-e^+e^-$ Decays." *Physical Review Letters* 84 (2000): 408–11.

Albert, D. Z. *Quantum Mechanics and Experience.* Cambridge, MA: Harvard Üniversitesi Yayınları, 1992.

Albert, D. Z. *Time and Chance.* Cambridge, MA: Harvard Üniversitesi Yayınları, 2000.

Albert, D. Z. ve Loewer, B. "Interpreting the Many Worlds Interpretation." *Synthese* 77 (1988): 195–213.

Albrecht, A. "Cosmic Inflation and the Arrow of Time." *Science and Ultimate Reality: From Quantum to Cosmos*, ed. Barrow, J. D., Davies, P. C. W. ve Harper, C. L. Cambridge: Cambridge Üniversitesi Yayınları, 2004.

Albrecht, A. ve Sorbo, L. "Can the Universe Afford Inflation?" *Physical Review* D 70 (2004): 63528.

Albrecht, A. ve Steinhardt, P. J. "Cosmology for Grand Unified Theories with Radiatively Induced Symmetry Breaking." *Physical Review Letters* 48 (1982): 1220–23.

Ali, A., Ellis, J. ve Randjbar- Daemi, S., ed. Salamfestschrift : *A Collection of Talks.* Singapore: World Scientific,. 1993.

Alpher, R. A. ve Herman, R. *Genesis of the Big Bang.* Oxford: Oxford Üniversitesi Yayınları, 2001.

Amis, M. *Time's Arrow.* New York: Vintage, 1991.

Angelopoulos, A., et al. (CPLEAR Collaboration). "First Direct Observation of Time Reversal Noninvariance in the Neutral Kaon System." *Physics Letters B* 444 (1998): 43–51.

Arntzenius, F. "Time Reversal Operations, Representations of the Lorentz Group, and the Direction of Time." *Studies in History and Philosophy of Science Part B* 35 (2004): 31–43.

Augustine, Saint. *Confessions.* Çev: H. Chadwick. Oxford: Oxford Üniversitesi Yayınları, 1998.

Avery, J. *Information Theory and Evolution.* Singapore: World Scientifi c, 2003.

Baker, N. *The Fermata.* New York: Random House, 2004.

Banks, T. "Entropy and Initial Conditions in Cosmology" (2007). http://arxiv.org/abs/ hep-th/0701146.

Banks, T. ve Fischler, W. "Holographic Cosmology 3.0." *Physica Scripta* T117 (2005): 56–63.

Barbour, J. *The End of Time: The Next Revolution in Physics*. Oxford Üniversitesi Yayınları, 1999.

Bardeen, J. M., Carter, B. ve Hawking, S. W. "The Four Laws of Black Hole Mechanics." *Communications in Mathematical Physics* 31 (1973): 161–70.

Barrow, J. D., Davies, P. C. W. ve Harper, C. L. *Science and Ultimate Reality: From Quantum to Cosmos, honoring John Wheeler's 90th birthday*. Cambridge: Cambridge Üniversitesi Yayınları, 2004.

Barrow, J. D. ve Tipler, F. J. *The Anthropic Cosmological Principle*. Oxford: Oxford Üniversitesi Yayınları, 1988.

Baum, E. B. *What Is Thought?* Cambridge, MA: MIT Üniversitesi Yayınları, 2004.

Bekenstein, J. D. "Black Holes and Entropy." *Physical Review D* 7 (1973): 2333–46.

Bekenstein, J. D. "Statistical Black Hole Thermodynamics." *Physical Review D* 12 (1975): 3077–85.

Bennett, C. H. "Demons, Engines, and the Second Law." *Scientific American* 257, no. 5 (1987): 108–16.

Bennett, C. H. ve Landauer, R. "Fundamental Limits of Computation." *Scientific American* 253, no. 1 (1985): 48–56.

Bojowald, M. "Loop Quantum Cosmology." *Living Reviews in Relativity* 8 (2006): 11.

Bojowald, M. ve Tavakol, R. "Recollapsing Quantum Cosmologies and the Question of Entropy." *Physical Review D* 78 (2008): 23515.

Boltzmann, L. "Weitere Studien über das Wärmegleichgewicht unter Gasmoleculen" [Further studies on the thermal equilibrium of gas molecules]. *Sitzungsberichte Akad. Wiss.* 66 (1872): 275–370.

Boltzmann, L. "Über die Beziehung eines allgemeine mechanischen Satzes zum zweiten Hauptsatze der Warmetheorie" [On the relation of a general mechanical theorem to the Second Law of Thermodynamics]. *Sitzungsberichte Akad. Wiss.* 75 (1877): 67–73.

Boltzmann, L. "On Certain Questions of the Theory of Gases." *Nature* 51 (1895): 413–15.

Boltzmann, L. "Entgegnung auf die wärmetheoretischen Betrachtungen des Hern. E. Zermelo" [Reply to Zermelo's remarks on the Theory of Heat]. *Annalen der Physik* 57 (1896): 773.

Boltzmann, L. "Zu Hrn. Zermelo's Abhandlung 'Über die mechanische Erklärung irreversibler Vorgänge'" [On Zermelo's paper "On the

Mechanical Explanation of Irreversible Processes"]. *Annalen der Physik* 60 (1897): 392.

Bondi, H. ve Gold, T. "The Steady-State Theory of the Expanding Universe." *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 108 (1948): 252–70.

Bostrom, N. "Are You Living in a Computer Simulation?" *Philosophical Quarterly* 53 (2003): 243–55.

Bousso, R. "Proliferation of de Sitter Space." *Physical Review* D 58 (1998): 083511.

Bousso, R. "A Covariant Entropy Conjecture." *Journal of High Energy Physics* 9907 (1999): 4.

Bousso, R. "The Holographic Principle." *Reviews of Modern Physics* 74 (2002): 825–74.

Bousso, R., Freivogel, B. ve Yang, I.-S. "Boltzmann Babies in the Proper Time Measure." *Physical Review D* 77 (2008): 103514.

Brush, S. G., ed. *The Kinetic Theory of Gases: An Anthology of Classic Papers with Historical Commentary.* London: Imperial College Yayınları, 2003.

Bucher, M., Goldhaber, A. S. ve Turok, N. "An Open Universe from Inflation," *Physical Review D* 52 (1995): 3314–37.

Bunn, E. F. "Evolution and the Second Law of Thermodynamics" (2009). http://arxiv.org/abs/0903.4603.

Bunn, E. F. ve Hogg, D. W. "The Kinematic Origin of the Cosmological Redshift" (2008). http://arxiv.org/abs/0808.1081.

Callender, C. "There Is No Puzzle About the Low Entropy Past." *Contemporary Debates in Philosophy of Science*, ed. C. Hitchcock, 240–55. Malden: Wiley-Blackwell, 2004.

Callender, C. Introducing Time. Illustrated by Ralph Edney. Cambridge: Totem Books, 2005.

Carroll, L. Alice's Adventures in Wonderland and Through the Looking Glass. New York: Signet Classics, 2000.

Carroll, S. M. Spacetime and Geometry: An Introduction to General Relativity. New York: Addison-Wesley, 2003.

Carroll, S. M. Dark Matter and Dark Energy: The Dark Side of the Universe. DVD Lectures. Chantilly, VA: Teaching Company, 2007.

Carroll, S. M. "What If Time Really Exists?" (2008). http://arxiv.org/abs/0811.3772.

Carroll, S. M. ve Chen, J. "Spontaneous Inflation and the Origin of the Arrow of Time" (2004). http://arxiv.org/abs/hep-th/0410270.

Carroll, S. M., Farhi, E. ve Guth, A. H. "An Obstacle to Building a Time Machine." Physical Review Letters 68 (1992): 263–66; Erratum: Ibid., 68 (1992): 3368.

Carroll, S. M., Farhi, E., Guth, A. H. ve Olum, K. D. "Energy Momentum Restrictions on the Creation of Gott Time Machines." Physical Review D 50 (1994): 6190–6206.

Carter, B. "The Anthropic Principle and Its Implications for Biological Evolution." Philosophical Transactions of the Royal Society of London A310 (1983): 347–63.

Casares, J. "Observational Evidence for Stellar-Mass Black Holes." In Black Holes from Stars to Galaxies— Across the Range of Masses, edited by V. Karas ve G. Matt. Proceedings of IAU Symposium #238, 3–12. Cambridge: Cambridge Üniversitesi Yayınları, 2007.

Cercignani, C. Ludwig Boltzmann: The Man Who Trusted Atoms. Oxford: Oxford Üniversitesi Yayınları, 1998.

Chaisson, E. J. Cosmic Evolution: The Rise of Complexity in Nature. Cambridge, MA: Harvard Üniversitesi Yayınları, 2001.

Christenson, J. H., Cronin, J. W., Fitch, V. L. ve Turlay, R. "Evidence for the 2π Decay of the K_2^0 Meson." Physical Review Letters 13 (1964): 138–40.

Coveney, P. ve Highfield, R. The Arrow of Time: A Voyage Th rough Science to Solve Time's Greatest Mystery. New York: Fawcett Columbine, 1990.

Crick, F. What Mad Pursuit: A Personal View of Scientific Discovery. New York: Basic Books, 1990.

Cutler, C. "Global Structure of Gott's Two-String Spacetime." Physical Review D 45 (1992): 487–94.

Danielson, D. R., ed. The Book of the Cosmos: Imagining the Universe from Heraclitus to Hawking. Cambridge: Perseus Books, 2000.

Darwin, C. On the Origin of Species. London: John Murray, 1859.

Davies, P. C. W. The Physics of Time Asymmetry. London: Surrey Üniversitesi Yayınları, 1974.

Davies, P. C. W. "Inflation and Time Asymmetry in the Universe." Nature 301 (1983): 398–400.

Davies, P. C. W. About Time: Einstein's Unfinished Revolution. New York: Simon & Schuster, 1995.

Davies, P. C. W. ve Twamley, J. "Time Symmetric Cosmology and the Opacity of the Future Light Cone." Classical and Quantum Gravit 10 (1993): 931–45.

Davis, J. A. The Logic of Causal Order. Thousand Oaks, CA: Sage Publications, 1985.

Dawkins, R. The Blind Watchmaker. New York: W. W. Norton, 1987.

de Bernardis, P. et al., BOOMERanG Collaboration. "A Flat Universe from High-Resolution Maps of the Cosmic Microwave Background Radiation." Nature 404 (2000): 955–59.

Dembo, A. ve Zeitouni, O. Large Deviations Techniques and Applications. NewYork: Springer-Verlag, 1998.

Deser, S., Jackiw, R. ve 't Hooft, G. "Physical Cosmic Strings Do Not Generate Closed Timelike Curves." Physical Review Letters 68 (1992): 267–69.

Deutsch, D. The Fabric of Reality: The Science of Parallel Universes— And Its Implications. New York: Allen Lane, 1997.

Dicke, R. H. ve Peebles, P. J. E. "The Big Bang Cosmology— Enigmas and Nostrums." In General Relativity: An Einstein Centenary Survey, edited by S. W. Hawking ve W. Israel, 504–17. Cambridge: Cambridge Üniversitesi Yayınları, 1979.

Diedrick, J. Understanding Martin Amis. Charleston: South Carolina Üniversitesi Yayınları, 1995.

Dieks, D. "Doomsday— or: The Dangers of Statistics." Philosophical Quarterly 42 (1992): 78–84.

Dodelson, S. Modern Cosmology. San Diego, CA: Academic Yayınları, 2003.

Dugdale, J. S. Entropy and Its Physical Meaning. London: Taylor and Francis, 1996.

Dyson, F. J. "Time Without End: Physics and Biology in an Open Universe." Reviews of Modern Physics 51 (1979): 447–60.

Dyson, L., Kleban, M. ve Susskind, L. "Disturbing Implications of a Cosmological Constant." Journal of High Energy Physics 210 (2002): 11.

Earman, J. "What Time Reversal Is and Why It Matters." International Studies in the Philosophy of Science 16 (2002): 245–64.

Earman, J. "The 'Past Hypothesis': Not Even False." Studies in History and Philosophy of Modern Physics 37 (2006): 399–430.

Eddington, A. S. The Nature of the Physical World (Gifford Lectures). Brooklyn: AMS Yayınları, 1927.

Eddington, A. S. Nature 127 (1931): 3203. Reprinted in Danielson (2000): 406.

Egan, G. Axiomatic. New York: Harper Prism, 1997.

Einstein, A., ed. The Principle of Relativity. Translated by W. Perrett ve G. B. Jeff rey. Mineola: Dover, 1923.

Einstein, A., Podolsky, B. ve Rosen, N. "Can Quantum-Mechanical Description of Physical Reality Be Considered Complete?" Physical Review 47 (1935): 777–80.

Ellis, J., Giudice, G., Mangano, M. L., Tkachev, I. ve Wiedemann, U. "Review of the Safety of LHC Collisions." Journal of Physics G 35 (2008): 115004.

Ellis, R. S. Entropy, Large Deviations, and Statistical Mechanics. New York: Springer- Verlag, 2005.

Evans, D. J. ve Searles, D. J. "The Fluctuation Theorem." Advances in Physics 51 (2002): 1529–89.

Everett, H. "Relative State Formulation of Quantum Mechanics." Reviews of Modern Physics 29 (1957): 454–62.

Falk, D. In Search of Time: The Science of a Curious Dimension. New York: Thomas Dunne Books, 2008.

Farhi, E. ve Guth, A. H. "An Obstacle to Creating a Universe in the Laboratory." Physics Letters B 183 (1987): 149.

Farhi, E., Guth, A. H. ve Guven, J. "Is It Possible to Create a Universe in the Laboratory by Quantum Tunneling?" Nuclear Physics B 339 (1990): 417–90.

Farrell, J. The Day Without Yesterday: Lemaître, Einstein, and the Birth of Modern Cosmology. New York: Basic Books, 2006.

Feinberg, G. "Possibility of Faster-Than-Light Particles." Physical Review 159 (1967): 1089–1105.

Feynman, R. P. The Character of Physical Law. Cambridge, MA: MIT Yayınları, 1964.

Feynman, R. P., Leighton, R. ve Sands, M. The Feynman Lectures on Physics. New York: Addison Wesley Longman, 1970.

Fischler, W., Morgan, D. ve Polchinski, J. "Quantum Nucleation of False Vacuum Bubbles." Physical Review D 41 (1990a): 2638.

Fischler, W., Morgan, D. ve Polchinski, J. "Quantization of False Vacuum Bubbles: A Hamiltonian Treatment of Gravitational Tunneling." Physical Review D 42 (1990b): 4042–55.

Fitzgerald, F. S. "The Curious Case of Benjamin Button." Collier's Weekly (May 1922): 27.

Freedman, W. L., et al. "Final Results from the Hubble Space Telescope Key Project to Measure the Hubble Constant." Astrophysical Journal 553, no. 1 (2001): 47–72.

Freivogel, B., Hubeny, V. E., Maloney, A., Myers, R. C., Rangamani, M. ve Shenker, S. "Inflation in AdS/CFT." Journal of High Energy Physics 603 (2006): 7.

Friedman, J., et al. "Cauchy Problem in Space-times with Closed Timelike Curves." Physical Review D 42 (1990): 1915–30.

Friedman, J. ve Higuchi, A. "Topological Censorship and Chronology Protection." Annalen der Physik 15 (2006): 109- 28.

Galison, P. Einstein's Clocks, Poincaré's Maps: Empires of Time. New York: W.W. Norton, 2003.

Gamow, G. One Two Three . . . Infinity: Facts and Speculations of Science. New York: Viking Yayınları, 1947.

Garriga, J. ve Vilenkin, A. "Recycling Universe." Physical Review D 57 (1998): 2230.

Garriga, J. ve Vilenkin, A. "Prediction and Explanation in the Multiverse." Physical Review D 77 (2008): 043526.

Garwin, R. L., Lederman, L. L. ve Weinrich, M. "Observation of the Failure of Conservation of Parity and Charge Conjugation in Meson Decays: The Magnetic Moment of the Free Muon." Physical Review 105 (1957): 1415–17.

Gasperini, M. ve Veneziano, G. "Pre-Big-Bang in String Cosmology." Astroparticle Physics 1 (1993): 317–39.

Gates, E. I. Einstein's Telescope. New York: W.W. Norton, 2009.

Gell-Mann, M. The Quark and the Jaguar: Adventures in the Simple and Complex. New York: W. H. Freeman, 1994.

Gell-Mann, M. ve Hartle, J. B. "Time Symmetry and Asymmetry in Quantum Mechanics and Quantum Cosmology." In Physical Origins of Time Asymmetry, edited by Halliwell, J. J., Pérez-Mercader, J. ve Zurek, W. H. 311–45. Cambridge: Cambridge Üniversitesi Yayınları, 1996.

Geroch, R. P. "Topology Change in General Relativity." Journal of Mathematical Physics 8 (1967): 782.

Gibbons, G. W. ve Hawking, S. W. "Cosmological Event Horizons, Thermodynamics, and Particle Creation." Physical Review D 15 (1977): 2738– 51.

Gödel, K. "An Example of a New Type of Cosmological Solution of Einstein's Field Equations of Gravitation." Reviews of Modern Physics 21 (1949): 447–50.

Gold, T. "The Arrow of Time." American Journal of Physics 30 (1962): 403–10.

Goldsmith, D. The Runaway Universe: The Race to Find the Future of the Cosmos. New York: Basic Books, 2000.

Goncharov, A. S., Linde, A. D. ve Mukhanov, V. F. "The Global Structure of the Inflationary Universe." International Journal of Modern Physics A 2 (1987): 561–91.

Gott, J. R. "Closed Timelike Curves Produced by Pairs of Moving Cosmic Strings: Exact Solutions." Physical Review Letters 66 (1991): 1126–29.

Gott, J. R. "Implications of the Copernican Principle for Our Future Prospects." Nature 363 (1993): 315–19.

Gott, J. R. Time Travel in Einstein's Universe: The Physical Possibilities of Travel Th rough Time. Boston: Houghton Miffl in, 2001.

Gould, S. J. Time's Arrow, Time's Cycle: Myth and Metaphor in the Discovery of Geological Time. Cambridge, MA: Harvard Üniversitesi Yayınları, 1987.

Greene, B. The Elegant Universe: Superstrings, Hidden Dimensions, and the Quest for the Ultimate Theory. New York: Vintage, 2000.

Greene, B. The Fabric of the Cosmos: Space, Time, and the Texture of Reality. New York: Knopf, 2004.

Grinstein, B., O'Connell, D. ve Wise, M. B. "Causality as an Emergent Macroscopic Phenomenon: The Lee-Wick O(N) Model." Physical Review D 79 (2009): 105019.

Grünbaum, A. Philosophical Problems of Space and Time. Dortrecht: Reidel, 1973.

Grünbaum, A. "The Poverty of Theistic Cosmology." British Journal for the Philosophy of Science 55 (2004): 561–614.

Guth, A. H. "The Inflationary Universe: A Possible Solution to the Horizon and Flatness Problems." Physical Review D 23 (1981): 347–56.

Guth, A. H. The Inflationary Universe: The Quest for a New Theory of Cosmic Origins. Reading: Addison-Wesley, 1997.

Guth, A. H. "Eternal Inflation and Its Implications." Journal of Physics A 40 (2007): 6811–26.

Halliwell, J. J. ve Hawking, S. W. "Origin of Structure in the Universe." Physical Review D 31 (1985): 1777.

Halliwell, J. J., Pérez-Mercader, J. ve Zurek, W. H. Physical Origins of Time Asymmetry. Cambridge: Cambridge Üniversitesi Yayınları, 1996.

Hartle, J. B. ve Hawking, S. W. "Wave Function of the Universe." Physical Review D 28 (1983): 2960–75.

Hartle, J. B., Hawking, S. W. ve Hertog, T. "The Classical Universes of the No-Boundary Quantum State."

Physical Review D 77 (2008): 123537.

Hartle, J. B. ve Srednicki, M. "Are We Typical?" Physical Review D 75 (2007): 123, 523.

Hawking, S. W. "Particle Creation by Black Holes." Communications in Mathematical Physics 43 (1975): 199–220; Erratum: Ibid., 46 (1976): 206.

Hawking, S. W. "The Arrow of Time in Cosmology." Physical Review D 32 (1985): 2489.

Hawking, S. W. A Brief History of Time: From the Big Bang to Black Holes. New York: Bantam, 1988.

Hawking, S. W. "The Chronology Protection Conjecture." Physical Review D 46 (1991): 603.

Hawking, S. W. "The No Boundary Condition and the Arrow of Time." In Halliwell et al. (1996): 346–57.

Hawking, S. W. ve Ellis, G. F. R. The Large-Scale Structure of Spacetime. Cambridge: Cambridge Üniversitesi Yayınları, 1974.

Hedman, M. The Age of Everything: How Science Explores the Past. Chicago: Chicago Üniversitesi Yayınları, 2007.

Heinlein, R. A. "All You Zombies ." Magazine of Fantasy and Science Fiction (March 1959).

Hollands, S. ve Wald, R. M. "An Alternative to Inflation." General Relativity and Gravitation 34 (2002): 2043–55.

Holman, R. ve Mersini-Houghton, L. "Why the Universe Started from a Low Entropy State." Physical Review D 74 (2006): 123510.

Hooper, D. Dark Cosmos: In Search of Our Universe's Missing Mass and Energy. New York: HarperCollins, 2007.

Horwich, P. Asymmetries in Time: Problems in the Philosophy of Science. Cambridge, MA: MIT Yayınları, 1987.

Hoyle, F. "A New Model for the Expanding Universe." Monthly Notices of the Royal Astronomical Society 108 (1948): 372–82.

Jaynes, E. T. "Gibbs vs. Boltzmann Entropies." American Journal of Physics 33 (1965): 391–98.

Jaynes, E. T. Probability Theory: The Logic of Science. Cambridge: Cambridge Üniversitesi Yayınları, 2003.

Johnson, G. "The Theory Th at Ate the World." New York Times, August 22, 2008, BR16.

Kauff man, S. A. The Origins of Order: Self-Organization and Selection in Evolution. Oxford: Oxford Üniversitesi Yayınları, 1993.

Kauff man, S. A. At Home in the Universe: The Search for the Laws of Self-Organization and Complexity. Oxford: Oxford Üniversitesi Yayınları, 1996.

Kauff man, S. A. Reinventing the Sacred: A New View of Science, Reason, and Religion. New York: Basic Books, 2008.

Kerr, R. P. "Gravitational Field of a Spinning Mass as an Example of Algebraically Special Metrics." Physical Review Letters 11 (1963): 237–38.

Khoury, J., Ovrut, B. A., Steinhardt, P. J. ve Turok, N. "The Ekpyrotic Universe: Colliding Branes and the Origin of the Hot Big Bang." Physical Review D 64 (2001): 123522.

Kirshner, R. P. The Extravagant Universe: Exploding Stars, Dark Energy, and the Accelerating Cosmos. Princeton, NJ: Princeton Üniversitesi Yayınları, 2004.

Klein, E. Chronos: How Time Shapes Our Universe. New York: Thunders Mouth Yayınları, 2005.

Kobayashi, M. ve Maskawa, T. "CP-Violation in the Renormalizable Theory of Weak Interaction." Progress of Theoretical Physics 49 (1973): 652–57.

Kofman, L., Linde, A. ve Mukhanov, V. "Inflationary Theory and Alternative Cosmology." Journal of High Energy Physics 210 (2002): 57.

Kolb, R. Blind Watchers of the Sky: The People and Ideas Th at Shaped Our View of the Universe. New York: Addison Wesley, 1996.

Kormendy, J. ve Richstone, D. "Inward Bound— The Search for Supermassive Black Holes in Galactic Nuclei." Annual Review of Astronomy and Astrophysics 33 (1995): 581.

Laplace, P.-S. A Philosophical Essay on Probabilities. Translated by F. W. Tuscott ve F. L. Emory, reprinted. New York: Cosimo Classics, 2007.

Lebowitz, J. L. "Statistical Mechanics: A Selective Review of Two Central Issues." Reviews of Modern Physics 71 (1999): S346–57.

Lebowitz, J. L. "Time's Arrow and Boltzmann's Entropy." Scholarpedia 3, no. 4 (2008): 3448.

Lee, T. D. ve Wick, G. C. "Finite Theory of Quantum Electrodynamics." Physical Review D 2 (1970): 1033–48.

Lee, T. D. ve Yang, C. N. "Question of Parity Conservation in Weak Interactions." Physical Review 104 (1956): 254–58.

Leff, H. S. ve Rex, A. F., ed. Maxwell's Demon 2: Entropy, Classical and Quantum Information, Computing. Bristol: Institute of Physics, 2003.

Lemaître, G. "The Primeval Atom Hypothesis and the Problem of the Clusters of Galaxies." In La Structure et l'Evolution de l'Univers, edited by R. Stoops, 1–32. Brussels: Coudenberg, 1958.

Leslie, J. "Is the End of the World Nigh?" Philosophical Quarterly 40 (1990): 65–72.

Linde, A. D. "A New Inflationary Universe Scenario: A Possible Solution of the Horizon, Flatness, Homogeneity, Isotropy and Primordial Monopole Problems." Physics Letters B 108 (1981): 389–93.

Linde, A. D. "Chaotic Inflation." Physics Letters B 129 (1983): 177–81.

Linde, A. D. "Eternally Existing Selfreproducing Chaotic Inflationary Universe." Physics Letters B 175 (1986): 395–400.

Linden, N., Popescu, S., Short, A. J. ve Winter, A. "Quantum Mechanical Evolution Towards Thermal Equilibrium" (2008). http://arxiv.org/abs/0812.2385.

Lindley, D. Boltzmann's Atom: The Great Debate Th at Launched a Revolution in Physics. New York: Free Yayınları, 2001.

Lineweaver, C. H. ve Egan, C. A. "Life, Gravity, and the Second Law of Thermodynamics." Physics of Life Reviews 5 (2008): 225–42.

Lippincott, K. The Story of Time. With U. Eco, E. H. Gombrich, and others. London: Merrell Holberton, 1999.

Lloyd, S. Programming the Universe: A Quantum Computer Scientist Takes On the Cosmos. New York: Knopf, 2006.

Lockwood, M. The Labyrinth of Time: Introducing the Universe. Oxford: Oxford Üniversitesi Yayınları, 2005.

Lucretius. De Rerum Natura (On the Nature of Th ings). Ed. ve çev. A. M. Esolen. Baltimore: Johns Hopkins Üniversitesi Yayınları, 1995.

Maglich, B. Adventures in Experimental Physics, Gamma Volume. Princeton, NJ: World Science Communications, 1973.

Malament, D. B. "On the Time Reversal Invariance of Classical Electromagnetic Theory." Studies in History and Philosophy of Science Part B 35 (2004): 295–315.

Maldacena, J. M. "The Large N Limit of Superconformal Field Theories and Supergravity." Advances in Theoretical and Mathematical Physics 2 (1998): 231–52.

Mathur, S. D. "The Fuzzball Proposal for Black Holes: An Elementary Review." Fortschritte der Physik 53 (2005): 793–827.

Mattingly, D. "Modern Tests of Lorentz Invariance." Living Reviews in Relativity 8 (2005): 5.

McTaggart, J. M. E. "The Unreality of Time." Mind: A Quarterly Review of Psychology and Philosophy 17 (1908): 456.

Michell, J. Philosophical Transactions of the Royal Society (London) 74 (1784): 35–57.

Miller, A. D., et al., TOCO Collaboration. "A Measurement of the Angular Power Spectrum of the CMB from l = 100 to 400." Astrophysical Journal Letters 524 (1999): L1–L4.

Miller, A. I. Albert Einstein's Special Theory of Relativity. Emergence (1905) and Early Interpretation (1905–1911). Reading: Addison–Wesley, 1981.

Minkowski, H. "Raum und Zeit" [Space and Time]. Phys. Zeitschrift 10 (1909): 104.

Misner, C. W., Thorne, K. S. ve Wheeler, J. A. Gravitation. San Francisco: W. H. Freeman, 1973.

Morange, M. Life Explained. Translated by M. Cobb ve M. DeBevoise. New Haven, CT: Yale Üniversitesi Yayınları, 2008.

Morris, M. S., Thorne, K. S. ve Yurtsever, U. "Wormholes, Time Machines, and the Weak Energy Condition." Physical Review Letters 61 (1988): 1446–49.

Musser, G. The Complete Idiot's Guide to String Theory. New York: Alpha Books, 2008.

Mustonen, V. ve Lässig, M. "From Fitness Landscapes to Seascapes: Non-Equilibrium Dynamics of Selection and Adaptation." Trends in Genetics 25 (2009): 111–19.

Nahin, P. J. Time Machines: Time Travel in Physics, Metaphysics, and Science Fiction. New York: Springer-Verlag, 1999.

Neal, R. M. "Puzzles of Anthropic Reasoning Resolved Using Full Non-indexical Conditioning" (2006). http://arxiv.org/abs/math/0608592.

Nelson, P. Biological Physics: Energy, Information, Life. Updated edition. New York: W. H. Freeman, 2007.

Nielsen, H. B. "Random Dynamics and Relations Between the Number of Fermion Generations and the Fine Structure Constants." Acta Physica Polonica B20 (1989): 427–68.

Nielsen, M. A. ve Chuang, I. L. Quantum Computation and Quantum Information. Cambridge: Cambridge Üniversitesi Yayınları, 2000.

Nietzsche, F. W. Die Fröhliche Wissenshaft. Translated (2001) as The Gay Science: With a Prelude in German Rhymes and an Appendix of Songs. Edited by B. A. O. Williams, translated by J. Nauckhoff, poems translated by A. Del Caro. Cambridge: Cambridge Üniversitesi Yayınları, 1882.

Novikov, I. D. Evolution of the Universe. Cambridge: Cambridge Üniversitesi Yayınları, 1983.

Novikov, I. D. The River of Time. Cambridge: Cambridge Üniversitesi Yayınları, 1998.

O'Connor, J. J. ve Robertson, E. F. "Pierre-Simon Laplace." MacTutor History of Mathematics Archive (1999). http:// www.groups.dcs.st-and.ac.uk/~history/Biographies/ Laplace.html.

Olum, K. D. "The Doomsday Argument and the Number of Possible Observers." Philosophical Quarterly 52 (2002): 164–84.

Orzel, C. How to Teach Physics to Your Dog. New York: Scribner, 2009.

Ouellette, J. The Physics of the Buff yverse. New York: Penguin, 2007.

Overbye, D. Lonely Hearts of the Cosmos. New York: HarperCollins, 1991.

Page, D. N. "Inflation Does Not Explain Time Asymmetry." Nature 304 (1983): 39-41.

Page, D. N. "Will Entropy Decrease If the Universe Recollapses?" Physical Review D 32 (1985): 2496.

Page, D. N. "Typicality Derived." Physical Review D 78 (2008): 023514.

Pascal, B. Pensées. Translated by A.J. Krailsheimer. New York: Penguin Classics, 1995.

Penrose, R. "Singularities and Time-Asymmetry." In General Relativity, and Einstein Centenary Survey, edited by S. W. Hawking ve W. Israel, 581–638. Cambridge: Cambridge Üniversitesi Yayınları, 1979.

Penrose, R. The Emperor's New Mind: Concerning Computers, Minds, and the Laws of Physics. Oxford: Oxford Üniversitesi Yayınları, 1989.

Penrose, R., The Road to Reality: A Complete Guide to the Laws of the Universe. New York: Knopf, 2005.

Perlmutter, S., et al., Supernova Cosmology Project. "Measurements of Omega and Lambda from 42 High Redshift Supernovae." Astrophysical Journal 517 (1999): 565–86.

Pirsig, R. M. Zen and the Art of Motorcycle Maintenance. New York: Bantam, 1974.

Poincaré, H. "Sur les problème des trois corps et les équations de la dynamique." *Acta Mathematica* 13 (1890): 1–270. Excerpts translated in Brush (2003, vol. 2) as "On the Th ree- Body Problem and the Equations of Dynamics," 194–202.

Poincaré, H. "Le mécanisme et l'expérience." Revue de Metaphysique et de Morale 4 (1893): 534. Translated in Brush (2003, vol. 2) as "Mechanics and Experience," 203–7.

Popper, Karl R. The Logic of Scientific Discovery. London: Routledge, 1959.

Poundstone, W. The Recursive Universe: Cosmic Complexity and the Limits of Scientific Knowledge. New York: W. W. Norton, 1984.

Price, H. Time's Arrow and Archimedes' Point: New Directions for the Physics of Time. New York: Oxford Üniversitesi Yayınları, 1996.

Price, H. "Cosmology, Time's Arrow, and Th at Old Double Standard." In Time's Arrows Today: Recent Physical and Philosophical Work on the Direction of Time, edited by S. F. Savitt, 66–96. Cambridge: Cambridge Üniversitesi Yayınları, 1997.

Price, H. "On the Origins of the Arrow of Time: Why There Is Still a Puzzle about the Low Entropy

Past." In Contemporary Debates in Philosophy of Science, edited by C. Hitchcock, 240–55. Malden: Wiley-Blackwell, 2004.

Prigogine, I. Thermodynamics of Irreversible Processes. New York: John Wiley, 1955.

Prigogine, I. From Being to Becoming: Time and Complexity in the Physical Sciences. New York: W. H. Freeman, 1980.

Proust, M. Swann's Way: In Search of Lost Time, vol. 1 (Du côté de chez Swann: À la recherche du temps perdu). Translated by L. Davis. New York: Penguin Classics, 2004.

Putnam, H. "It Ain't Necessarily So." Journal of Philosophy 59, no. 22 (1962): 658–71.

Pynchon, T. Slow Learner. Boston: Back Bay Books, 1984.

Randall, L. Warped Passages: Unraveling the Mysteries of the Universe's Hidden Dimensions. New York: HarperCollins, 2005.

Regis, E. What Is Life?: Investigating the Nature of Life in the Age of Synthetic Biology. Oxford: Oxford Üniversitesi Yayınları, 2009.

Reichenbach, H. The Direction of Time. Mineola: Dover, 1956.

Reichenbach, H. The Philosophy of Space and Time. Mineola: Dover, 1958.

Reid, M. J. "Is There a Supermassive Black Hole at the Center of the Milky Way?" (2008). http://arxiv.org/abs/0808.2624.

Reznik, B. ve Aharonov, Y. "Time-Symmetric Formulation of Quantum Mechanics." Physical Review A52 (1995): 2538–50.

Ridderbos, K., ed. Time: The Darwin College Lectures. Cambridge: Cambridge Üniversitesi Yayınları, 2002.

Riess, A., et al., Supernova Search Team. "Observational Evidence from Supernovae for an Accelerating Universe and a Cosmological Constant." Astronomical Journal 116 (1998): 1009–38.

Rouse Ball, W. W. A Short Account of the History of Mathematics, 4thed., reprinted 2003. Mineola, NY: Dover, 1908.

Rovelli, C. "Forget Time" (2008). http://arxiv.org/abs/0903.3832.

Rowling, J. K. Harry Potter and the Half-Blood Prince. New York: Scholastic, 2005.

Rukeyser, M. Willard Gibbs. Woodbridge: Ox Bow Yayınları, 1942.

Sagan, C. Contact. New York: Simon and Schuster, 1985.

Savitt, S. F., ed. Time's Arrows Today: Recent Physical and Philosophical Work on the Direction of Time. Cambridge: Cambridge Üniversitesi Yayınları, 1997.

Schacter, D. L., Addis, D. R. ve Buckner, R. L. "Remembering the Past to Imagine the Future: The Prospective Brain." Nature Reviews Neuroscience 8 (2007): 657-61.

Schlosshauer, M. "Decoherence, the Measurement Problem, and Interpretations of Quantum Mechanics." Reviews of Modern Physics 76 (2004): 1267–1305.

Schneider, E. D. ve Sagan, D. Into the Cool: Energy Flow, Thermodynamics, and Life. Chicago: Chicago Üniversitesi Yayınları, 2005.

Schrödinger, E. What Is Life? Cambridge: Cambridge Üniversitesi Yayınları, 1944.

Seife, C. Decoding the Universe: How the New Science of Information Is Explaining Everything in the Cosmos, from Our Brains to Black Holes. New York: Viking, 2006.

Sethna, J. P. Statistical Mechanics: Entropy, Order Parameters, and Complexity. Oxford: Oxford Üniversitesi Yayınları, 2006.

Shalizi, C. R. Notebooks (2009). http://www.cscs.umich.edu/~crshalizi/notebooks/.

Shannon, C. E. "A Mathematical Theory of Communication." Bell System Technical Journal 27 (1948): 379–423 ve 623–56.

Singh, S. Big Bang: The Origin of the Universe. New York: Fourthestate, 2004.

Sklar, L. Physics and Chance: Philosophical Issues in the Foundations of Statistical Mechanics. Cambridge: Cambridge Üniversitesi Yayınları, 1993.

Smolin, L. The Life of the Cosmos. Oxford: Oxford Üniversitesi Yayınları, 1993.

Snow, C.P. The Two Cultures. Cambridge: Cambridge Üniversitesi Yayınları, 1998.

Sobel, D. Longitude: The True Story of a Lone Genius Who Solved the Greatest Scientific Problem of His Time. New York: Penguin, 1995.

Spergel, D. N., et al., WMAP Collaboration. "First Year Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (WMAP) Observations: Determination of Cosmological Parameters." Astrophysical Journal Supplement 148 (2003): 175.

Steinhardt, P. J. ve Turok, N. "Cosmic Evolution in a Cyclic Universe." Physical Review D 65 (2002): 126003.

Steinhardt, P. J. ve Turok, N. Endless Universe: Beyond the Big Bang. New York: Doubleday, 2007.

Stoppard, T. Arcadia, in Plays: Five. London: Faber and Faber, 1999.

Strominger, A. ve Vafa, C. "Microscopic Origin of the Bekenstein-Hawking Entropy." Physics Letters B 379 (1996): 99–104.

Styer, D. F. "Entropy and Evolution." American Journal of Physics 76 (2008): 1031–33.

Susskind, L. "The World as a Hologram." Journal of Mathematical Physics 36 (1995): 6377–96.

Susskind, L. The Cosmic Landscape: String Theory and the Illusion of Intelligent Design. New York: Little, Brown, 2006.

Susskind, L. The Black Hole War: My Battle with Stephen Hawking to Make the World Safe for Quantum Mechanics. New York: Little, Brown, 2008.

Susskind, L. ve Lindesay, J. An Introduction to Black Holes, Information, and the String Theory Revolution: The Holographic Universe. Singapore: World Scientific, 2005.

Susskind, L., Thorlacius, L. ve Uglum, J. "The Stretched Horizon and Black Hole Complementarity." Physical Review D 48 (1993): 3743–61.

Swinburne, R. The Existence of God. Oxford: Oxford Üniversitesi Yayınları, 2004.

't Hooft, G. "Causality in (2+1)-Dimensional Gravity." Classical and Quantum Gravity 9 (1992): 1335–48.

't Hooft, G. "Dimensional Reduction in Quantum Gravity." In Salamfestschrift : a Collection of Talks, edited by A. Ali, J. Ellis ve S. Randjbar-Daemi. Singapore: World Scientific, 1993.

Tegmark, M. "The Interpretation of Quantum Mechanics: Many Worlds or Many Words?" Fortschritte der Physik 46 (1998): 855–62.

Thomson, W. "On the Age of the Sun's Heat." Macmillan's 5 (1862): 288–93.

Thorne, K. S. Black Holes and Time Warps: Einstein's Outrageous Legacy. New York: W.W. Norton, 1994.

Tipler, F. J. "Rotating Cylinders and the Possibility of Global Causality Violation." Physical Review D 9 (1974): 2203–6.

Tipler, F. J. "Singularities and Causality Violation." Annals of Physics 108 (1977): 1–36.

Tolman, R. C. "On the Problem of Entropy of the Universe as a Whole." Physical Review 37 (1931): 1639–60.

Toomey, D. The New Time Travelers: A Journey to the Frontiers of Physics. New York: W. W. Norton, 2007.

Toulmin, S. "The Early Universe: Historical and Philosophical Perspectives." In The Early Universe, Proceedings of the NATO Advanced Study Institute, held in Victoria, Canada, Aug. 17-30, 1986, edited by W. G. Unruh ve G. W. Semenoff, 393. Dortrecht: D. Reidel, 1988.

Tribus, M. ve McIrvine, E. "Energy and Information." Scientific American (August 1971): 179.

Uffl ink, J. "Boltzmann's Work in Statistical Physics." The Stanford Encyclopedia of Philosophy (Winter 2008 edition), edited by Edward N. Zalta (2004). http://plato.stanford.edu/archives/win2008/entries/statphys-Boltzmann/.

Vilenkin, A. "The Birth of Inflationary Universes." Physical Review D 27 (1983): 2848–55.

Vilenkin, A. "Eternal Inflation and Chaotic Terminology" (2004). http://arxiv.org/abs/ gr-qc/0409055.

Vilenkin, A. Many Worlds in One: The Search for Other Universes. New York: Hill and Wang, 2006.

Viola, F. From Eternity to Here: Rediscovering the Ageless Purpose of God. Colorado Springs: David C. Cook, 2009.

Von Baeyer, H. C. Warmth Disperses and Time Passes: The History of Heat. New York: Modern Library, 1998.

Von Baeyer, H. C. Information: The New Language of Science. Cambridge, MA: Harvard Üniversitesi Yayınları, 2003.

Vonnegut, K. Slaughterhouse-Five. New York: Dell, 1969.

Wald, R. W. "Asymptotic Behavior of Homogeneous Cosmological Models in the Presence of a Positive Cosmological Constant." Physical Review D 28 (1983): 2118–20.

Weinberg, S. The First Th ree Minutes: A Modern View of the Origin of the Universe. New York: Basic Books, 1977.

Weiner, J. Time, Love, Memory: A Great Biologist and His Quest for the Origins of Behavior. New York: Vintage, 1999.

Wells, H. G. The Time Machine. Reprinted in The Complete Science Fiction Treasury of H. G. Wells (1978). New York: Avendel, 1895.

West, G. B., Brown, J. H. ve Enquist, B. J. "The Fourth Dimension of Life: Fractal Geometry and the Allometric Scaling of Organisms." Science 284 (1999): 1677–79.

Wheeler, J. A. "Time Today." In Physical Origins of Time Asymmetry, edited by J. J. Halliwell, J. Pérez-Mercader ve W. H. Zurek, 1–29. Cambridge: Cambridge Üniversitesi Yayınları, 1994.

Wiener, N. Cybernetics: or the Control and Communication in the Animal and the Machine. Cambridge, MA: MIT Üniversitesi Yayınları, 1961.

Wikipedia contributors. "Time." Wikipedia, The Free Encyclopedia. http://en.wikipedia.org/wiki/Time (accessed January 6, 2009).

Wright, E. L. "Errors in the Steady State and Quasi-SS Models" (2008). http://www.astro.ucla.edu/~wright/stdystat.htm.

Wu, C. S., Ambler, E., Hayward, R. W., Hoppes, D. D. ve Hudson, R. P. "Experimental Test of Parity Nonconservation in Beta Decay." Physical Review 105 (1957). 1413–15.

Zeh, H. D. The Physical Basis of The Direction of Time. Berlin: Springer-Verlag, 1989.

Zermelo, E. "Über einen Satz der Dynamik und die mechanische Warmtheorie." Annalen der Physik 57 (1896a): 485. Translated in Brush (2003) as "On a Theorem of Dynamics and the Mechanical Theory of Heat," 382.

Zermelo, E. "Über mechanische Erklärungen irreversibler Vorgänge." Annalen der Physik 59 (1896b): 793. Translated in Brush (2003) as "On the Mechanical Explanation of Irreversible Processes," 403.

Zurek, W. H. "Entropy Evaporated by a Black Hole." Physical Review Letters 49 (1982): 1683–86.

Zurek, W. H. Complexity, Entropy, and the Physics of Information. Boulder: Westview Yayınları, 1990.

DİZİN

Abbott, Edwin A. 144
Achatz, Grant 209
Acta Mathematica 267, 501
Aguirre, Anthony 9, 453, 458
À la recherche du temps perdu (*Kayıp Zamanın İzinde*, Proust) 237
Albrecht, Andreas 9, 290, 403, 420
algoritmik karmaşıklık 263
"All You Zombies" (Heinlein) 138, 497
Alpher, Ralph 73
Amis, Martin 40, 42, 218, 493
anizotropi 74
Annie Hall (1977) 62
antropik ilke 427
Arcadia (Stoppard) 44, 163, 503
ardalan ışınımı 72, 73, 402, 455
ardalan zamanı 154
Aristoteles 478
Arroway, Ellie (kurgusal karakter) 150
atalet 111, 119
atom çekirdeği 80
atom kuramı 272, 295
atom saatleri 103
Avicenna 175
Avogadro Sayısı 200
Aziz Augustinus 19

Banks, Tom 9, 438
bebek evrenler 457, 460, 464, 465, 466, 472
Bekenstein, Jacob 336, 344, 345
belirlenimcilik 142, 164
Bell, John 313
Bennett, Charles 247
Berlioz, Hector 370
Bernoulli, Daniel 194
beyaz delikler 124, 125, 440
Beyaz Kraliçe 43, 59, 217, 218
bilgi kuramı 227, 250
bilişsel kararsızlık 242
biyofizik 258
Bohr, Niels 310, 325
Boltzmann beyinleri 6, 290, 401, 402, 403, 436, 444, 456, 466
Boltzmann-Lucretius senaryosu 285, 466
Boltzmann, Ludwig 6, 14, 48, 54, 194, 295, 492
boş uzay 364, 391, 392, 393, 395, 398, 399, 419, 429, 432, 455, 461
Bousso, Raphael 9, 362
Boylam Dairesi 267
bozonlar 349
Brahe, Tycho 475
Bruno, Giordano 479
Budizm 96
Bugün Aslında Dündü (*Groundhog Day*, 1993) 131
bulutsu 221
Büyük Birleşme Kuramları (BBK ya da Grand Unified Theories, GUTs) 410
Büyük Ezilme 384, 391, 392, 401, 444, 446
Büyük Patlama 7, 12, 13, 14, 46, 47, 62, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 75, 76, 77, 88, 89, 122, 232, 236, 263, 274, 275, 276, 314, 331, 347, 351, 358, 374, 375, 401, 402, 411, 412, 413, 414, 415, 416, 421, 423, 425, 428, 429, 436, 441, 442, 443, 446, 447, 448, 449, 450, 451, 452, 454, 459, 461, 463, 467, 473, 478, 479

Callender, Craig 243, 488
Callisto 57
Calvino, Italo 161
Carnot, Lazare 50
Carrey, Jim 481
Carroll, Lewis 41, 42, 59
CERN 185, 354
Chandrasekhar Sınırı 78
Chen, Jennifer 389, 463
Clausius, Rudolf 48, 194, 208
clinamen (sapma) 283
CPLEAR deneyi 185
Cronin, James 188
Curtis, Heber 65
Cutler, Curt 146
çakışma sorunu 84
çarpışma sayı varsayımı 231
çift yarık deneyi 307
çoklu dünyalar yorumu 310, 317, 323, 324, 325, 326

dairesel-zaman evreni 132, 143
dalga fonksiyonu 302, 303, 304, 305, 306, 307, 308, 310, 311, 312, 313, 314, 315, 316, 317, 318, 319, 320, 321, 322, 323, 324, 325, 327, 329, 349, 363, 396, 443, 449
Darwin, Charles 477, 478, 479, 492, 502
Demokritos 51, 283, 297
Denklemler 150
Deser, Stanley 147
de Sitter uzayı 364, 398, 399, 400, 401, 402, 421, 423, 455, 456, 457, 460, 464, 472
de Sitter, Willem 398
devridaim 249, 259
DeWitt, Bryce 325, 344
Dicke, Robert 73, 413
Die fröhliche Wissenschaft (Şen Bilim ya da The Gay Science, Nietzsche) 265
doğal logaritma 202, 487
dönme 97, 98, 297
Du côté de chez Swann (Swann'ların Tarafı ya da Swann's Way, Proust) 237, 501
Dumb ve Dumber (Salak ile Avanak) (1994) 481
düzlük sorunu 409
Düzülke (Abbott) 144, 145, 146, 148, 149, 150, 153
Dyson, Lisa 403

Eddington, Arthur 47, 289
Einstein, Albert 93, 296, 321, 335, 499
eksi enerji 401
elektromanyetizma 99, 181, 182
elektronlar 80, 349, 382, 414
enerjinin korunumu 456
Epikuros 283, 284
EPR paradoksu 321
erken evren 71, 72, 147, 380, 387, 388, 404, 423, 428, 429, 431
esir 94, 99, 100
eşevresizlik 326, 328, 330
etkinlik 413
Euler sabiti 487
Everett, Hugh, III 325, 326, 345, 494
evrenin başlangıç koşulları 86, 372

Farhi, Edward 457
Feynman, Richard 205, 292, 345, 366, 470
Field, George 146
Fitch, Val 188
Fitzgerald, F. Scott 41, 217
FitzGerald, George 32
Foster, Jodie 150
Freud, Sigmund 474

galaksiler 21, 65, 67, 68, 69, 73, 76, 77, 81, 82, 85, 86, 255, 264, 283, 382, 384, 385, 386, 395, 421, 456, 461, 476
Galileo Galilei 27
Galison, Peter 94
Gamow, George 73
geçen süre 5
Geçmiş Varsayımı 224, 233, 234, 236, 239, 242, 245, 275, 287, 436, 455
Gelecek Varsayımı 445
Genelleştirilmiş İkinci Yasa 346

genetik 256
gerçek vakum 419, 420, 422, 423, 424, 425, 426, 456, 460, 465
gerilim 119
Geroch, Robert 156
Gibbs, Josiah Willard 194, 225, 259
Gold evreni 87, 445, 447, 466
Gold, Thomas 75, 87, 445
Gott, Richard 145
görelilik 1, 16, 29, 31, 32, 34, 39, 50, 67, 70, 71, 77, 81, 83, 87, 88, 93, 94, 95, 96, 98, 99, 102, 104, 105, 111, 113, 118, 121, 124, 129, 131, 144, 151, 161, 173, 202, 236, 267, 274, 275, 317, 320, 335, 338, 339, 340, 341, 344, 346, 347, 356, 376, 378, 385, 391, 394, 398, 401, 408, 442, 448, 450, 470, 475, 488
gözlem 97, 98, 101, 102, 115, 132, 213, 303, 305, 306, 309, 311, 312, 319, 320, 321, 323, 324, 325, 328, 404, 409, 466
gözlemlenebilir evren 281, 375, 376, 436, 465
Gratton, Steven 454
Guth, Alan 147, 405, 410, 426, 457, 488
Guven, Jemal 457
Güneş 26, 55, 56, 60, 63, 65, 74, 176, 255, 269, 270, 340, 382, 386, 395, 396, 470, 475, 477, 484, 485
Güneş Sistemi 63, 74, 475
gürültü 174, 209, 257, 259
güzergâh 33, 34, 105, 106, 109, 116, 179, 230, 305, 462, 463

hafıza 238, 245
hareket 20, 23, 26, 29, 30, 31, 33, 34, 35, 37, 39, 49, 50, 57, 66, 67, 80, 94, 97, 98, 99, 101, 102, 104, 105, 106, 107, 108, 110, 111, 113, 117, 120, 121, 122, 123, 127, 128, 129, 139, 140, 145, 147, 148, 149, 150, 153, 154, 156, 174, 175, 176, 177, 178, 179, 180, 181, 182, 191, 194, 198, 200, 202, 206, 207, 208, 215, 220, 227, 244, 245, 255, 266, 267, 279, 281, 283, 284, 296, 301, 320, 339, 348, 352, 360, 364, 373, 375, 376, 377, 382, 384, 385, 387, 388, 391, 395, 412, 414, 419, 428, 429, 430, 431, 433, 434, 439, 441, 442, 447, 452, 453, 454, 455, 459, 462, 463, 483
haritalar 95
Hartle, James 443
Hawking ışınımı 352, 353, 355, 356, 390, 401, 440, 460
Hawking, Stephen 7, 86, 122, 157, 335, 336, 342, 347, 354, 356, 357, 362, 365, 366, 378, 402, 443, 446, 503
Heinlein, Robert A. 138
Heisenberg, Werner 82, 310
Helmholtz, Hermann von 259
helyum 72, 484
Herakleitos 14
Herman, Robert 73
hız 53, 79, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 104, 175, 179, 315
Higgs alanı 99
H-Kuramı 228, 229
Holly, Lauren 481
holografik ilke 362, 363
Hoyle, Fred 75
Hubble, Edwin 65, 66
Hubble sabiti 67
Hubble uzunluğu 377
Hubble Yasası 67
Humason, Milton 67
hücresel otomatlar 170

ışık hızı 83, 100, 101, 109, 121, 129, 155, 241
ışık konileri 107, 109, 110, 121, 122, 128, 130, 142, 416
ışınım 7, 72, 73, 80, 120, 186, 227, 228, 241, 242, 253, 255, 337, 342, 347, 350, 354, 356, 373, 374, 390, 391, 408, 411, 412, 421, 440, 441
İbn Sina 175
iri tanelendirme 211, 214, 294
ivme 98, 99, 100, 114, 121, 146

Jackiw, Roman 147
Johnson, Matthew 458

Kadim Atom 75
kahverengi cüceler 85
kalorik 51, 475
kaonlar 184, 185
kapalı sistemler 51, 63
kapalı zamansal eğriler 130, 131, 135, 140-143, 146, 150, 153, 157
kara cisim ışınımı 284
kara delikler 75, 85, 86, 122, 131, 161, 336, 337, 338, 340, 343, 344, 345, 346, 347, 348, 350, 352, 353, 354, 358, 359, 372, 378, 380, 384, 386, 387, 391, 392, 397, 399, 414, 428, 432, 484, 488
kara enerji 1, 69, 80, 81, 82, 111, 119, 382, 396, 397, 403, 406, 411, 412, 416, 417, 423, 448, 480
kara madde 80, 81, 373, 384, 386, 480
karmaşıklık 170, 252, 255, 256, 263, 264, 442
karşı-parçacıklar 352, 353
Kasner, Edward 387
Kelvin, William Thomson, Lord 194, 230
Kepler, Johannes 475
Kerr, Roy 131, 151
kırmızıya kayma 66, 120, 343
kimya 252
kinetik kuram 53, 245
klasik mekanik 173, 174, 179, 182, 203, 299, 301, 303, 305, 339
Kleban, Matthew 403
Kolmogorov karmaşıklığı 263
konum 176, 177, 178, 179, 203, 210, 211, 213, 222, 223, 229, 297, 301, 304, 309, 315, 316, 317, 318, 330
Kopenhag yorumu 310, 312, 313
kozmik sicimler 145
kozmoloji 10, 15, 61, 62, 78, 147, 266, 281, 300, 347, 381, 406, 412, 413, 416, 435, 455, 463, 479, 480, 487
kozmolojik sabit 79, 81, 84, 396, 397, 403, 449
Kronoloji Koruma Varsayımı 157
kuantum dalga fonksiyonu 321, 449
kuantum mekaniği 10, 15, 82, 87, 95, 113, 174, 202, 203, 228, 247, 256, 298, 299, 301, 303, 310, 312, 313, 314, 318, 320, 324, 337, 339, 341, 344, 347, 348, 349, 351, 366, 368, 378, 457, 471
kuantum tünellemesi 396, 458
kuarklar 184, 349
kubit 301
küreler 174
kütle 27, 93, 94, 97, 111, 145, 148, 175, 179, 255, 340, 341, 342, 345, 346, 351, 352, 353, 354, 355, 358, 369, 386, 387, 484, 485
kütleçekim 5, 7, 69, 71, 74, 77, 80, 81, 82, 83, 85, 87, 94, 105, 113, 114, 115, 116, 117, 119, 120, 121, 122, 125, 130, 144, 156, 157, 236, 242, 258, 286, 298, 317, 331, 335, 337, 338, 339, 340, 342, 344, 345, 346, 347, 348, 349, 351, 352, 355, 356, 357, 358, 359, 360, 362, 363, 364, 365, 366, 367, 368, 369, 372, 373, 374, 379, 380, 382, 383, 384, 385, 386, 389, 395, 399, 410, 419, 432, 443, 444, 449, 450, 451, 457, 459, 467, 470, 471, 477, 480

Landauer, Rolf 247
Lao Tzu 113
Laplace'ın Şeytanı 163
Laplace, Pierre-Simon 120, 161, 162, 224, 500
Lavoisier, Antoine 161
Lectures on Physics (Feynman) 292, 494
Lee, Tsung- Dao 186
Leibniz, Gottfried Wilhelm 370
Leukippos 283
Linde, Andrei 9, 420, 421, 427
Liouville, Joseph 223
Liouville Kuramı 223
Look at the Harlequins! (Nabokov) 193
Lorentz dönüşümleri 98
Lorentz, Hendrik Antoon 94
Loschmidt, Josef 230
Loschmidt tersinirlik itirazı 230

Lucretius 284, 285, 288, 289, 291, 292, 294, 295, 400, 402, 452, 457, 462, 466, 499

MacDowell, Andie 132
madde 35, 37, 51, 68, 69, 71, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 84, 88, 121, 130, 131, 167, 182, 208, 220, 256, 280, 282, 340, 349, 364, 373, 374, 382, 383, 384, 386, 389, 391, 392, 393, 396, 397, 399, 400, 401, 402, 408, 411, 412, 420, 421, 422, 423, 424, 425, 441, 443, 450, 459, 463, 464, 480
"Mağrur Filozof Sorunu" 293
makro-durumlar 212, 216, 225
Maldacena, Juan 364
Maldacena karşılıklılığı 365
manyetik monopoller 410, 417
March, Hilde 256
Marx, Karl 474
Mather, John 73
Maxwell'in Şeytanı 6
Maxwell, James Clerk 14, 52, 113, 194, 230, 245
McTaggart, J. M. E. 38, 39, 499
Mechanique Celeste (Gök Mekaniği, Laplace) 162
Mesaj (Contact, Sagan) 150
Messier, Charles 65
Michell, John 120
Michelson, Albert 100
Michelson-Morley deneyi 113
mikro-durumlar 213, 215, 216, 222, 224, 367
Minkowski uzayı 32, 398, 465
Minsky, Marvin 262
Misner, Charles 131, 345
Mittag-Leffler, Gosta 266, 267, 268
moleküler kaos 231
momentum 147, 175, 177, 178, 179, 180, 211, 214, 229, 258, 301, 315, 316, 318
Moncrieff, C. K. Scott 238
monopol sorunu 412
Morley, Edward 100
Morris, Michael 153
motorlar 50
Murray, Bill 131

Nabokov, Vladimir 193
neden ve sonuç 245
Neumann, John von 170, 227, 237
Newton, Isaac 32, 103, 119, 174, 475
Nietzsche, Friedrich 265, 469
Nihai Makine 262
Nobel Ödülü 73, 147, 258, 342
nötronlar 80, 182, 183
nötron yıldızları 85

Olum, Ken 9, 148
Orta Varsayımı 455
ortaya çıkan olgu 472
Oscar, II. 266
Oxford English Dictionary 11
öteleme 98, 120
özdurum 310
özgür irade 13, 44, 61, 139, 157, 245

Page, Don 9, 446
Paley, William 478
paradokslar 135, 155
paralel gerçeklikler 325
Parmenides 14, 283
Pascal, Blaise 435
Peebles, P. J. E. 73, 493
Penrose, Roger 122, 341, 347, 380, 381, 388, 443
Penzias, Arno 73
Perlmutter, Saul 78
Physical Review Letters 149, 150, 489, 491, 492, 493, 495, 497, 499, 505
Pilgrim, Billy (kurgusal karakter) 37
Pirsig, Robert 35
Planck alanı 345, 350
Planck kütlesi 83, 485
Planck, Max 83, 202, 272
Planck sabiti 83, 402
Planck uzunluğu 83, 345, 350, 351, 377
Planck zamanı 83
Podolsky, Boris 321
Poincaré, Henri 32, 94, 266, 267

Popper, Karl 474
Preskill 9, 357, 365, 366
Preston, Philip 209
Price, Huw 9, 36, 86, 446, 488
Proust, Marcel 237
Proxima Centauri 64
Pynchon, Thomas 57

Ramis, Harold 131
Rees, Martin 350
Rosen, Nathan 321

saatler 27, 28, 29, 31, 32, 33, 34, 39, 94, 95, 103, 104, 118, 133, 216
Sagan, Carl 150, 284
sahte vakum 420, 422, 423, 424, 456, 458, 459, 464
Sanal parçacıklar 83
Schmidt, Brian 78, 79
Sciama, Dennis 350
Sen, Ashoke 368
Septimus 44
serbest düşüş 115
serbest enerji 258, 259, 260, 262, 264
Se una notte d'inverno un viaggiatore (Bir Kış Gecesi Eğer Bir Yolcu ya da If on a Winter's Night a Traveler, Calvino) 161
Sexton, Anne 335
Shakespeare, William 48, 93, 238
Shannon, Claude 227, 237, 250, 262
Shapley, Harlow 65
sınır koşulları 219, 245, 444, 447
Slipher, Vesto 66
Smoot, George 73
Snow, C. P. 48, 503
solucan delikleri 150, 151, 155, 156
Sorbo, Lorenzo 290, 403
Stallman, Richard 259
Starobinsky, Alexander 347
Stockum, Willem Jacob van 131
Stoppard, Tom 44, 163
Strine, Arno (kurgusal karakter) 30, 31
Strominger, Andrew 368
Susskind, Leonard 95, 362, 368, 403, 488

süper-kara enerji 411, 412, 417
süperkütleçekim 364
süperkütleli kara delikler 337, 338
süpernovalar 78
süpersimetri 368, 480
süpersoğuma 405
sürtünme 50, 174, 209, 259
şişme kozmolojisi 379

Tam Dizinsel-olmayan Koşullandırma 294
Tao Te Ching (Lao Tzu) 113
Tegmark, Max 310
temel parçacıklar 21, 51, 86, 165, 330
termal dalgalanma 461
termal denge 257, 295, 343, 344, 380, 383, 393
Termodinamiğin Birinci Yasası 343
Termodinamiğin İkinci Yasası 5, 193, 200, 204, 374, 435, 436
Termodinamiğin Sıfırıncı Yasası 343
Terör Düzeni 161
The Black Hole Wars (Susskind) 95
The Character of Physical Law (Feynman) 205, 494
"The Curious Case of Benjamin Button (Benjamin Button'ın Tuhaf Hikâyesi)" (Fitzgerald) 41
The Fermata (Baker) 489
The Unreality of Time 38, 499
Thomasina (kurgusal karakter) 44
Thorne, Kip 9, 131, 135, 150, 151, 345, 357, 488
Time's Arrow (Amis) 40, 42, 217, 218, 488, 489, 495, 498, 501
Tipler, Frank 131
Tolman, Richard 453
topoloji 148
Toulmin, Stephen 405
Tralfamadoryalılar 37
Triangulum Galaksisi 65
Tye, Henry 413

Unruh, William 345
Unverdorben, Odilo (kurgusal karakter) 42

uzayın eğikliği 407, 408
Uzay Yolu (Star Trek) 97, 156
üst üste binme 309, 311, 324, 327, 328

Vafa, Cumrun 368
vakum enerjisi 81, 82, 84, 85, 120, 371, 389, 397, 398, 399, 400, 457, 467
vakum kabarcıkları 422
Vergilius 40, 284
Vilenkin, Alexander 421
Vonnegut, Kurt 36

Wagner, Richard 126
Wahrscheinlichkeit (W),. Aynı zamanda bkz., olasılık 201
Wald, Robert 345
Watson, James 256
Weyl eğiklik varsayımı 443
What Is Life? (Schrödinger) 256, 258, 501, 502
Wheeler, John Archibald 21
Wilson, Robert 73
Wu, Chien-Shiung 186

Yang, Chen Ning 186
yaşam 6, 19, 113, 123, 139, 238, 252, 254, 255, 257, 261, 262, 264, 265, 279, 280, 288, 289, 427, 451
yerellik 322, 360, 361, 362
Yerkürenin enerji bütçesi 253
yıldızsılar 131, 338
Yurtsever, Ulvi 153, 499
yük 114, 186, 187, 188, 340, 342, 343, 345, 346, 355, 410
yük eşleniği 186, 187

zaman çizgileri 22, 106, 107, 109, 133
zamanda evrim 167
zaman genişlemesi 102, 118
zaman oku 7, 9, 16, 44, 47, 54, 58, 62, 76, 87, 95, 105, 139, 157, 158, 198, 205, 216, 217, 225, 227, 228, 230, 233, 300, 313, 314, 324, 330, 355, 404, 435, 438, 451, 452, 454, 455, 461, 464, 465, 466, 473, 480
zamansal şovenizm 454
zarlar 368, 369
zayıf çekirdek kuvveti 186
zekâ 163
Zel'dovich, Yakov 347, 348, 350
Zen and the Art of Motorcycle Maintenance (Zen ve Motosiklet Bakım Sanatı – Değerlerin Sorgulanması, Pirsig) 35, 501
Zen Budizm 96
Zermelo, Ernst 266, 272, 273, 274, 490, 505

HANGİ GALAKSİDE OLURSANIZ OLUN, ZAMAN YALNIZCA BİR YÖNDE İLERLER! NEDEN?

20 yıl önce, Stephen Hawking zamanı Büyük patlamayı anlayarak açıklamaya çalıştı. Şimdi Sean Carroll daha tutkulu olmamız gerektiğini söylüyor. Kuşağının önde giden kuramsal fizikçilerinden biri olan Carroll, zaman okunun varoluşunu nasıl olup da bizatihi Einstein'ın hayal bile etmediği bir dönem olan Büyük Patlama öncesi koşullara borçlu olduğunu gösteren büyüleyici bir kuram sunuyor. Entropiden kuantum mekaniğine, zaman yolculuğundan bilgi kuramına ve yaşamın anlamına kadar birçok konuyu kucaklayan *Zamanın Kronolojik Tarihi* nasıl olup da var olduğumuzu anlama yolunda tam bir köşetaşı.

"Bu kitap yalnızca 'ebediyet' üzerine değil; aynı zamanda 'burası' üzerine. Zaman oku bilmecesi dev teleskoplarla ya da güçlü parçacık hızlandırıcılarla başlamıyor; her yumurta kırdığımızda mutfağımızda gerçekleşiyor."
–Sean Carroll

"Olağanüstü açıklayıcı ve derin."
–Kip S. Thorne, *Yıldızlararası Bilimi*'nin yazarı

"Bu kitap evrenimizin zengin gizemleri üzerine yazılmış en berrak incelemelerden biri."
–The Wall Street Journal

alfakitap | www.alfakitap.com
9 786051 716213
BİLİM