Marcus Chown

BİRAZ KUANTUMDAN ZARAR GELMEZ

Evren hakkında kışkırtıcı bir kılavuz

6. BASKI



ALFA | BİLİM

MARCUS CHOWN

New Scientist'in kozmoloji danışmanı olan Marcus Chown, kariyerine California Institute of Technology'de radyo astronom olarak başlar. Chown evren, kozmoloji ve kuantum gibi zor konuları geniş kitlere aktarmak gibi zor bir işi başarmıştır.
Popüler bilim dalında birçok ödüle sahip olan İngiliz yazarın Türkçedeki başlıca eserleri *Atomların Dansı* ve *Büyük Patlamanın Işığı*'dır.

TAYLAN TAFTAF

1980 İstanbul doğumlu. İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi mezunu. Kitap çevirilerinin yanı sıra, teknik çevirmen ve editör olarak çalışıyor.

Biraz Kuantumdan Zarar Gelmez
© 2008, 2011, ALFA Basım Yayım Dağıtım San. ve Tic. Ltd. Şti.

Quantum Theory Cannot Hurt You
© 2007, 2011 Marcus Chown

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

Yayıncı ve Genel Yayın Yönetmeni M. Faruk Bayrak
Genel Müdür Vedat Bayrak
Dizi Editörü Kerem Cankoçak
Yayın Yönetmeni Mustafa Küpüşoğlu
Sayfa Tasarımı Mürüvet Durna

ISBN 978-605-106-073-6
1. Basım: 2006
6. Basım: Ağustos 2015

Alfa Basım Yayım Dağıtım San. ve Tic. Ltd. Şti.
Ticarethane Sokak No: 53 34410 Cağaloğlu-İstanbul
Tel: 0(212) 511 53 03 (pbx) Faks: 0(212) 519 33 00
www.alfakitap.com - info@alfakitap.com
Sertifika no: 10905

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: 12088

Marcus Chown

BİRAZ KUANTUMDAN ZARAR GELMEZ

Evren hakkında kışkırtıcı bir kılavuz

Çeviri
Taylan Taftaf

ALFA | BİLİM

Çöktüğüm ve neden herkesin bana karşı olduğunu düşündüğüm zamanlarda, "Çünkü sen i..n tekisin, Marcus," diyerek beni teselli eden Patrick'e...

İÇİNDEKİLER

Önsöz 9
Teşekkürler 13

BİRİNCİ KISIM: KÜÇÜK ŞEYLER
1 Einstein'ı Solumak 17
2 Tanrı Neden Zar Atar? 31
3 Şizofren Atom 45
4 Belirsizlik ve Bilginin Sınırları 59
5 Telepatik Evren 79
6 Özdeşlik ve Farklılığın Kökleri 95

İKİNCİ KISIM: BÜYÜK ŞEYLER
7 Uzay ve Zamanın Ölümü 121
8 $E = mc^2$ ve Güneş Işığının Ağırlığı 145
9 Kütleçekim Kuvveti Diye Bir Şey Yok 159
10 Şapkadan Çıkan Tavşan 189

Sözlük 213

ÖNSÖZ

Aşağıdakilerden biri doğrudur:

- Aldığınız her nefes Marilyn Monroe'nun verdiği nefesten bir atom içerir.
- Yukarı doğru akabilecek bir sıvı türü vardır.
- Bir binanın en üst katında, en alt katına kıyasla daha hızlı yaşlanırsınız.
- Bir atom aynı anda birçok farklı yerde bulunabilir; tıpkı sizin aynı anda hem New York hem de Londra'da bulunmanız gibi.
- Tüm insan ırkı, bir küp şekerin sahip olduğu hacme sığdırılabilir.
- Herhangi bir kanala ayarlanmamış televizyondaki karlanmanın yüzde biri, Büyük Patlama'nın neden olduğu elektromanyetik gürültüdür.
- Zamanda yolculuk fizik kurallarına aykırı değildir.
- Bir fincan sıcak kahvenin ağırlığı, soğuk halinden daha fazladır.
- Ne kadar hızlanırsanız, o kadar incelirsiniz.

Hayır, şaka yapıyorum. Bunların hepsi de doğru!

Bir bilim yazarı olarak, bilimin bilimkurgudan çok daha tuhaf bilgiler içermesi ve evrenin icat edip edebileceğimiz her şeyden çok daha etkileyici oluşu karşısında her zaman hayrete düşmüşümdür. Buna rağmen, 20. yüzyılın sıradışı keşiflerinden pek azı kamuoyunun dikkatini çekebilmiştir.

Geçtiğimiz yüzyılın en önemli iki başarısı, atomlar ve bileşenlerini resmeden kuantum teorisi ile uzay, zaman ve kütleçekimini resmeden Einstein'ın genel görelilik teorisidir. Bu iki teori, dünya ve bizim hakkımızda neredeyse her şeyi açıklamaktadır. Aslına bakılacak olursa, kuantum teorisinin, ayaklarımızın altındaki zeminin neden katı olduğu ve güneşin neden ışıldadığını açıklamanın ötesinde, bilgisayarların, lazer teknolojilerinin ve nükleer santrallerin inşasını mümkün kılarak, bildiğimiz anlamda modern dünyayı yarattığı söylenebilir. Göreliliğin gündelik yaşam üzerindeki etkileri bu denli aşikâr değildir belki. Ne var ki, bu teori bize, hiçbir şeyin, ışığın bile kaçamadığı kara deliklerin varlığını, ezelden beri var olduğu düşünülen evrenimizin aslında Büyük Patlama denilen devasa bir patlamayla oluştuğunu ve zaman makinelerinin –buraya dikkat– mümkün olabileceğini göstermiştir.

Bu konular üzerine yazılan önemli kaynakların pek çoğunu okumama ve sahip olduğum bilimsel geçmişe rağmen, getirdikleri açıklamalar beni çoğu zaman şaşkınlığa sürüklemiştir. Durum böyleyken, bilimle alakası olmayanlar için konunun nasıl görüneceğini düşünemiyorum bile.

Edindiğim tecrübelerin tümü, "Temel bilimsel düşüncelerin çoğu özünde basittir ve dolayısıyla herkes tarafından kolaylıkla anlaşılabilecek bir dille ifade edilebilir," diyen Einstein'ın haklı olduğunu gösteriyor. Bu kitabı ya-

zarken aklımdaki fikir, sıradan insanların 21. yüzyıl fiziğinin temel prensiplerini anlamasına yardımcı olmaktı. Yapmam gereken yalnızca, kuantum teorisi ve genel göreliliğin temel fikirlerini ortaya koymak (ki bu işin aldatıcı derecede basit olduğu ortaya çıktı) ve geriye kalan her şeyin, mantıksal ve kaçınılmaz olarak, nasıl bu fikirlerden türediğini göstermekti.

Söylemesi kolay. Kuantum teorisi, geçtiğimiz 80 yıl içerisinde biriken ve kimsenin tam bir elbiseye dönüştüremediği parçalardan oluşmuş bir yamalı bohçaya benzetilebilir. Dahası, teorinin evre uyumsuzluğu gibi, neden insanların değil, ancak atomların aynı anda iki yerde olabileceğini açıklayan çok önemli parçalarını anlaşılır şekilde aktarmak fizikçilerin gücünün ötesinde görünmektedir. Birçok "uzmanla" konu üzerine görüştükten sonra, onların da bu kavramı tam olarak anlamamış olabileceğini fark ettim. Bu, bir anlamda, beni özgür kılıyordu. Ortaya konmuş tutarlı bir açıklama olmadığından ötürü, farklı kişilerden aldığım görüşleri bir araya getirerek kendi görüşlerimi oluşturmam gerektiğini anladım. Bu yüzden, burada yapılan açıklamaların birçoğunu başka hiçbir yerde bulamayacaksınız. Okuyacağınız sayfaların, modern fiziğin temel fikirlerini sarmış olan sisin bir kısmını dağıtacağını ve böylece ne denli büyüleyici bir evrende bulunduğumuzu görerek bunun değerini vermeye başlayacağınızı temenni ediyorum.

TEŞEKKÜRLER

Bana doğrudan yardımcı olan, ilham veren veya bu kitabın yazımı esnasında beni yüreklendiren aşağıdaki kişilere çok teşekkürler: Babam, Karen, Sara Menguc, Jeffrey Robbins, Neil Belton, Henry Volans, Rachel Marcus, Moses Cardona, Brian Clegg, Profesör Tony Hey, Kate Oldfield, Vivien James, Brian May, Dr. Bruce Bassett, Dr. Larry Schulman, Dr. Wojciech Zurek, Sir Martin Rees, Alison Chown, Colin Wellman, Rosie ve Tim Chown, Patrick O'Halloran, Julie ve Dave Mayes, Stephen Hedges, Sue O'Malley, Sarah Topalian, Dr. David Deutsch, Alexandra Feacham, Nick Mayhew-Smith, Elisabeth Geake, Al Jones, David Hough, Fred Barnum, Pam Young, Roy Perry, Hazel Muir, Stuart ve Nikki Clark, Simon Ings, Barry Fox, Spencer Bright, Karen Gunnell, Jo Gunnell, Pat ve Brian Chilver, Stella Barlow, Silvano Mazzon, Barbara Pell ve David, Julia Bateson, Anne Ursell, Barbara Kiser, Dottie Friedli, Jon Holland, Martin Dollard, Sylvia ve Sarah Kefyalew, Matilda ve Dennis ve Amanda ve Andrew Buckley, Diane ve Peter ve Ciaran ve Lucy Tomlin, Eric Gourlay, Paul Brendford. Söylenegeldiği gibi, bu insanlardan hiçbiri, herhangi bir hatadan sorumlu değildir.

BİRİNCİ KISIM

Küçük Şeyler

1

EINSTEIN'I SOLUMAK

Her Şeyin Atomlardan Oluştuğunu ve Atomun Büyük Bir kısmının Boşluk Olduğunu Nasıl Keşfettik?

Burnumun ucundaki bir hücrede bulunan hidrojen atomu, zamanında bir filin hortumunun parçasıydı.
Jostein Gaarder

Silahı kullanmaya hiç niyetimiz yoktu. Ama öylesine başbelası bir ırktılar ki. Aksinin geçerli olduğunu göstermek için harcadığımız tüm çabalara rağmen, bizi "düşman" olarak algılamakta ısrar ettiler. Tüm nükleer stoklarını mavi gezegenlerinin yörüngesindeki gemimize ateşlediklerinde sabrımız taşmıştı.

Silah basit, fakat etkiliydi. Maddenin içindeki tüm boşluğu çekip çıkardı.

Sirian keşif seferimizin komutanı, kesiti ancak bir santimetre olan, parlak metalik küpü incelerken birincil kafasını umutsuzca salladı. "İnsan ırkından" geriye kalanın yalnızca bu olduğuna inanmak hiç de kolay değildi!

Şayet tüm insan ırkının bir küp şekerin hacmine sığabileceği fikri bilimkurgu gibi geliyorsa, bir daha düşünün. Normal bir maddenin hacminin yüzde 99,9999999999999'unun boşluk olması dikkate değer bir gerçektir. Vücudumuzdaki atomların içerdiği boşluğun tümünü çekip çıkarmanın bir yolu olsaydı, insanlık gerçekten de bir küp şekerin sahip olduğu hacme sığabilirdi.

Atomların bu ürkütücü boşluğu, maddenin yapı taşlarının sıra dışı özelliklerinden yalnızca biri. Bir diğeri ise elbette ki, boyutları. Bu sayfadaki tek bir noktanın enini kapsamak için 10 milyon atomu uç uça dizmek gerekir. Bu durum akıllara şu soruyu getirecektir: Her şeyin atomlardan oluştuğunu nasıl keşfettik?

Her şeyin atomlardan oluşmuş olduğu fikri ilk defa, MÖ 440 yıllarında, Yunan filozof Demokritos tarafından öne sürülmüştür.[1] Demokritos, eline bir taş alarak kendisine şu soruyu sormuştu: "Şayet bunu ikiye böler ve parçalardan birini tekrar ikiye bölersem, sonsuza dek bunu yapmaya devam edebilir miyim?" Cevabı kesin bir *hayır* oldu. Maddenin sonsuza dek bölünebilmesi, Demokritos için tasavvur edilemez bir durumdu. Önünde sonunda, maddenin artık daha küçük parçalara bölünemeyecek bir taneciğe

[1] Bu fikirlerin bir kısmı önceki kitabım *The Magis Furnace*'da geçmektedir. Halihazırda bu kitabı okumuş olanlara özürlerimi sunarım. Atom dünyasının bir teorisi olan kuantum teorisi üzerine şekillenecek ilerleyen bölümlerin, tam olarak anlaşılabilmesi için, atom hakkında bazı temel noktaların bilinmesi gerektiğini düşünüyorum.

dönüşeceği çıkarımında bulundu ve "bölünemeyen" sözcüğünün Yunancası "*a-tomos*" olduğundan, maddenin söz konusu varsayımsal yapı taşlarına "atom" adını verdi.

Atomlar duyularla algılanamayacak kadar küçük olduğundan, varlıklarını kanıtlamak her zaman için güç olacaktı. Ne var ki, 18. yüzyılda yaşamış İsviçreli matematikçi Daniel Bernoulli tarafından bir yol bulundu. Bernoulli, atomların doğrudan gözlemlenmesi imkânsız olsa da, dolaylı olarak gözlemlenebilmelerinin mümkün olabileceğini anladı. Daha net bir ifadeyle ortaya koyacak olursak, Bernoulli, çok sayıda atom bir arada hareket ettiği takdirde, bunun gündelik yaşantımızda fark edilebilecek kadar büyük bir etkiye neden olabileceğini düşünmüştü. Tek yapması gereken, doğada bunun gerçekleştiği bir yer bulmaktı. Buldu da: bir "gazın" içinde.

Bernoulli, hava veya su buharı gibi bir gazı, bir kovan dolusu kızgın arıyı andıracak şekilde, çılgınca hareket eden milyarlarca ve milyarca atomun oluşturduğu bir topluluk olarak düşünüyordu. Bu net görüş, aynı zamanda, şişirilmiş bir balonun bu şekilde kalmasını sağlayan ve buhar makinesinde pistona kuvvet uygulayan gazın "basıncına" da açıklama getiriyordu. Bir kaba hapsedildiğinde, gazın ihtiva ettiği atomlar, dolu tanelerinin teneke bir çatıyı dövmesi gibi, kabın çeperlerine insafsızca çarpmaktaydı. Neden oldukları bileşik etki ise kaba duyularımız tarafından kabın çeperlerini zorlayan sabit bir kuvvet olarak algılanan, gergin bir güç yaratıyordu.

Öte yandan Bernoulli'nin basınç için getirdiği mikroskobik açıklama, gazın içinde olup bitenleri zihnimizde canlandırmanın kolay bir yolu olmanın ötesinde de faydalar sağladı. Artık kesin bir öngörüde bulunabiliyorduk. Eğer gaz ilk hacminin yarısına sıkıştırılırsa, atomların, kabın çeperlerine çarpmak için daha önce katettikleri yo-

lun yalnızca yarısını katetmesi gerekecekti. Bu sebeple de, kabın çeperlerine iki kat daha çok çarparak basıncı iki katına çıkaracaklardı. Şayet gaz, hacminin üçte birine kadar sıkıştırılırsa, atom çarpışmaları ve dolayısıyla basınç da üç katına çıkacaktı. Bu böyle devam ediyordu.

Söz konusu davranış İngiliz bilim adamı Robert Boyle tarafından gözlemlendi ve Bernoulli'nin gaza yönelik ortaya koyduğu açıklama onaylanmış oldu. Bernoulli atomları boşlukta oradan oraya uçuşan küçük tanecikler olarak açıkladığından, bu durum atomların varlığını destekliyordu. Bu başarıya rağmen, atomların var olduğuna dair kesin kanıt 20. yüzyılın başlarına dek ortaya çıkmayacaktı. Kesin kanıt "Brown hareketi" adı verilen muğlak bir olgunun içinde saklıydı.

Brown hareketi, adını 1801 yılındaki Flinders keşif seferiyle Avustralya'ya yelken açan bitkibilimci Robert Brown'dan almıştır. Brown güney yarımkürede geçirdiği zaman boyunca Avustralya'ya özgü 4000 bitki türünü sınıflandırmış ve bu süreçte canlı hücrelerinin çekirdeğini keşfetmiştir. Fakat Brown esas olarak, 1827 yılında suda asılı polen tanecikleri üzerine yaptığı gözlemle tanınır. Büyütecinin ardındaki Brown, sudaki taneciklerin, meyhaneden çıkıp evin yolunu bulmaya çalışan sarhoşlar gibi zikzaklar çizerek heyecanlı bir hareket içinde olduğunu gözlemlemiştir.

Brown asi polen taneciklerinin sırrını hiçbir zaman çözemedi. Bu konudaki asıl ilerleme için, bilim tarihindeki en büyük yaratıcılık patlamasının merkezinde bulunan 26 yaşındaki Albert Einstein'ı beklemek zorundaydık. "Mucizevi yılı" olan 1905'te Einstein, harekete dair Newtoncu fikirlerin yerini alacak özel görelilik teorisiyle Newton'un egemenliğine son vermekle kalmadı, aynı zamanda Brown hareketinin 80 yıllık sırrına da vâkıf oldu.

Einstein'a göre polen taneciklerinin çılgınca dansının nedeni, küçük su molekülleri tarafından sürekli bir bombardımana maruz kalıyor olmalarıydı. İnsan boyunu aşan bir şişme topun geniş bir alanda birçok kişi tarafından itildiğini düşünün. Şayet herkes diğerlerinden bağımsız olarak kendi yönünde bir itme gücü uygularsa, herhangi bir anda topun bir tarafına kıyasla diğer bir tarafına daha fazla itme gücü uygulanıyor olabilir. Bu dengesizlik topun düzensiz hareketler yapması için yeterlidir. Benzer şekilde, polen taneciğinin düzensiz hareketlerinin nedeni de, polenin bir tarafına kıyasla bir diğer tarafında daha çok su molekülü baskısı olması olabilir.

Einstein, Brown hareketini tanımlayabilmek için matematiksel bir kuram geliştirdi. Söz konusu kuram, polen taneciğinin ne kadar hızla ve ne kadar uzağa gideceğini belirleyen şeyin, polenin çevresini sarmış olan su moleküllerinin uyguladığı acımasız ataklar olduğunu öngörüyordu. Bütün olay su moleküllerinin boyutlarıyla bağlantılıydı; zira moleküller ne denli büyükse, polen taneciğine uygulanan kuvvetin dengesizliği de aynı ölçüde artacak ve dolayısıyla bu da Brown hareketinin düzeyini belirleyecekti.

Fransız fizikçi Jean Baptiste Perrin, *gamboge* adı verilen ve Kamboçya'da bir ağaç türünden elde edilen sarı renkte zamksı reçinenin suda asılı haliyle yaptığı gözlemlerini, Einstein'ın kuramının öngörüleriyle karşılaştırdı. Perrin bu gözlemlerinde, öncelikle su moleküllerinin, bunun sonucunda da, molekül yapılarını oluşturan atomların boyutlarını belirlemeyi başardı ve atomların çapının bir metrenin 10 milyarda birine denk geldiği sonucuna ulaştı. Yani bu sayfadaki tek bir noktanın enini kapsamak için 10 milyon atomun yan yana dizilmesini gerektirecek kadar küçüktü boyutları.

Atomlar aslında o kadar küçüklerdi ki, bir nefesin ihtiva ettiği milyarlarca ve milyarlarcası dünyanın atmosferine eşit olarak dağılmış olsaydı, atmosferin her bir nefeslik biriminde bu atomların bir kısmı bulunurdu. Bir başka ifadeyle, aldığınız her nefes Albert Einstein (veya Jül Sezar, Marilyn Monroe, hatta dünya üzerinde yürümüş son Tyrannosaurus Rex) tarafından verilmiş nefesten en az bir atom içermektedir.

Dahası, biyosferdeki atomlar düzenli olarak geri dönüşüme tabî olur. Bir organizma öldüğünde çürür ve onu oluşturan atomlar zaman içinde hayvanlarla insanların yiyeceği bitkileri oluşturmak üzere toprağa ve atmosfere geri döner. Norveçli romancı Joestein Gaarder *Sofi'nin Dünyası* isimli kitabında, "Kalp kasımdaki bir karbon atomu zamanında bir dinozorun kuyruğundaydı," demiştir.

Brown hareketi atomların varlığını ortaya koyacak en kuvvetli kanıttı. Mikroskoptan bakıp da, acımasız bir saldırı altındaki polen taneciklerinin çılgın dansını gören hiç kimse, dünyanın esasında bu minik, kurşunvari parçacıklardan yapılmış olduğundan şüphe edemezdi. Fakat öte taraftan serseri polen taneciklerini (yani atomların etkisini) seyretmek, atomları gerçekten *görmekle* aynı şey değildi. Bunun içinse, taramalı tünelleme mikroskobu [STM: *scanning tunnelling microscobe*] adı verilen kayda değer bir aygıtın 1980 yılındaki icadına kadar beklemek durumundaydık.

STM'nin ardındaki fikir çok basitti. Kör bir insan, bir başkasının yüzünü, parmağını bu yüzün üzerinde gezdirip zihninde oluşturduğu bir resim aracılığıyla "görebilir." STM de benzer bir şekilde çalışmaktadır. Aradaki fark ise STM'deki "parmağın," eski gramofon iğnelerini andıran küçük metal bir iğne olmasıdır. İğneyi maddenin yüzeyinde gezdirip, gerçekleşen yukarı-aşağı hareketleri

bilgisayara aktararak, atom düzeyindeki dalgalanmaları detaylı bir şekilde resmetmek mümkündür.[2]

Elbette durumun bundan biraz daha karmaşık olduğunu söyleyebiliriz. İcadın çalışma prensibi ne denli basit olursa olsun, uygulamada aşılması gereken ciddi engeller mevcuttu. Örneğin atomları "hissedebilecek" kadar hassas bir iğnenin bulunması gerekiyordu. Nobel komitesi bu güçlüklerin hakkını verdi ve STM mikroskobunun ardındaki IBM araştırmacıları Gerd Binnig ve Heinrich Rohrer, 1986 yılında Nobel Fizik Ödülü'yle onurlandırıldı.

Binnig ve Rohrer, tarih boyunca bir atomu gerçekten "gören" ilk kişiler oldu. STM'yle elde ettikleri görüntüler, dünyanın, ayın ıssız griliği üzerinde yükselişi ya da DNA'nın dönemeçli sarmal merdiveninin yanında, bilim tarihinin en önemli noktalarından biriydi. Atomlar küçük futbol toplarını andırıyor, kasalara istiflenmiş portakallar gibi gözüküyordu. Fakat her şeyden daha çok, Demokritos'un 2400 yıl önce tüm açıklığıyla zihninde canlandırdığı gibi, küçük ve sert madde taneciklerine benziyorlardı. Tarihte hiç kimse, deneysel olarak teyit

---

[2] Elbette herhangi bir iğnenin, dokunduğu yüzeyi insan parmağının hissedebileceği gibi hissetmesi mümkün değildir. Öte yandan iğne elektrikle yüklenerek iletken bir yüzeye aşırı yaklaştırıldığı takdirde, iğnenin ucu ile yüzey arasında çok küçük, fakat ölçülebilir bir elektrik akım sıçraması oluşur. "Tünelleme akımı" olarak bilinen bu sıçramaların değerlendirilebilecek çok önemli bir özelliği vardır. Akım miktarı, iğnenin ucu ile yüzey arasındaki boşluğun büyüklüğüne çok fazla duyarlıır. İğne yüzeye birazcık yaklaştırılırsa, akım çok hızlı bir şekilde artar; çok az uzaklaştırıldığında ise akım dibe vurur. Dolayısıyla tünelleme akımının miktarı, iğne ucu ile yüzey arasındaki boşluğun büyüklüğüne çok fazla duyarlıdır. İğne yüzeye birazcık yaklaştırılırsa, akım çok hızlı bir şekilde artar; çok az uzaklaştırıldığında ise akım dibe vurur. Dolayısıyla tünelleme akımının miktarı, iğne ucu ile yüze arasındaki uzaklığı ortaya çıkarır. Bu durum da, iğneye yapay bir dokunma hissi verir.

edilmeden önce, Demokritos kadar ileri bir öngörüde bulunamamıştır.

Fakat STM, atomların yalnızca bir yönünü ortaya koyabilmişti. Demokritos'un da fark ettiği gibi, atomlar sürekli hareket halindeki küçük parçacıklar olmaktan çok daha fazlasıydı.

Doğanın Lego Taşları

Atomlar doğanın Lego taşlarıdır. Çeşitli şekil ve boyutlarda olan atomlar birçok farklı yoldan bir araya getirilerek bir çiçek, altın külçesi veya bir insan oluşturulabilir. Her şey kombinasyonlarda gizlidir.

Nobel ödüllü Amerikalı bilim adamı Richard Feynman, "Büyük bir afette sahip olduğumuz tüm bilimsel mirası kaybetsek ve gelecek nesillere aktarabileceğimiz tek bir cümle olsa, hangi ifade en az kelimeyle en çok bilgiyi aktarırdı?" diye sormuş ve cevabı kesin olmuştur: "Her şey atomlardan oluşmaktadır."

Atomların doğanın Lego taşları olduğunu kanıtlamada temel adım, farklı türlerdeki atomları tespit edebilmekti. Fakat atomların duyular tarafından doğrudan algılanamayacak kadar küçük olması bu sürecin her adımını, atomların maddenin sürekli hareket halindeki en küçük tanecikleri olduğunu ispatlamak kadar zorlaştırıyordu. Farklı türlerdeki atomları tespit etmenin tek yolu, tek bir tip atomdan oluşan maddeler bulmaktı.

1789 yılında Fransız aristokrat Antoine Lavoisier, herhangi bir şekilde bileşenlerine ayrılamayacağına inandığı maddelerin bir listesini yaptı. Lavoisier'in listesinde 23 "element" vardı. Bazılarının element olmadığı sonraki yıllarda ortaya çıksa da, pek çoğu (altın, gümüş, demir ve cıva da dahil olmak üzere) öyleydi. Lavoisier'in 1794'te giyotinde gelen ölümünün ardından 40 yıl içinde, element

listesi 50 maddeye yaklaşmıştı. Günümüzde, en hafifi hidrojenden en ağırı uranyuma dek uzanan 92 element olduğunu biliyoruz.

Peki ama, bir atomu diğerinden farklı kılan nedir? Sözgelimi, bir hidrojen atomunun uranyum atomundan farkını nasıl anlayabiliriz? Yanıta ancak bu elementlerin iç yapılarını inceleyerek ulaşabiliriz. Fakat atomlar olağanüstü küçük boyutlardadır. Geçmişte, birisinin çıkıp da atomun içine bakmanın bir yolunu bulması imkânsız görünüyordu. Ancak bunu bir kişi başardı: Ernest Rutherford adında bir Yeni Zelandalı. Rutherford'un dâhiyane fikri, atomların içine bakmak için yine atomları kullanmaktı.

Katedraldeki Pervane

Atomların yapısını açığa çıkaran olay, 1896 yılında Fransız kimyager Henri Becquerel tarafından keşfedilen radyoaktivite oldu. 1901 ve 1903 yılları arasında, Rutherford ve İngiliz kimyager Frederick Soddy, radyoaktif bir atomun aslında aşırı enerjiyle kaynaşan ağır bir atom olduğuna dair güçlü kanıtlar buldu. Kaçınılmaz bir şekilde bir saniye, bir yıl veya milyonlarca yıl sonra, bu atom sahip olduğu fazla enerjiden, bir tür parçacığı kendisinden yüksek bir hızda fırlatarak kurtuluyordu. Fizikçiler bu durumu, atomun biraz daha hafif bir elemente dönüşecek şekilde parçalandığını veya "bozunduğunu" söyleyerek açıklamaktadır.

Bu bozunma parçacıklarından biri, Rutherford ve genç Alman fizikçi Hans Geiger tarafından, hidrojenden sonra en hafif ikinci element olan helyum atomu olduğu ortaya konulan, alfa parçacığıdır.

1903 yılında Rutherford, radyoaktif radyum atomlarından dışarı atılan alfa parçacıklarının hızını ölçtü

ve insanı hayrete düşürecek bir sonuca ulaştı: saniyede 25.000 kilometre – bir diğer deyişle, alfa parçacıklarının hızı günümüzün jetlerinden 100.000 kat daha yüksekti. Bu noktada Rutherford, alfa parçacıklarının, atomlara çarparak derinlerde yatanın ne olduğunu ortaya çıkarmaya yarayacak mükemmel "mermi" olduğunu anladı.

Fikir basitti: alfa parçacıklarını atomun içine ateşlemek. Yollarını kapatan sert bir şeyle karşılaşırlarsa, rotalarından sapacaklardı. Binlerce ve binlerce alfa parçacığını ateşleyerek ve rotalarından nasıl saptıklarını gözlemleyerek, atomun iç yapısını detaylı bir şekilde resmetmek mümkün olabilirdi.

Rutherford'un deneyi, 1909 yılında, Geiger ve Yeni Zelandalı genç fizikçi Ernest Marsden tarafından gerçekleştirildi. "Alfa-saçılımı" deneylerinde, alfa parçacıklarını mikroskobik havai fişekler gibi ateşleyen küçük bir radyum örneği kullanılıyordu. Radyum örneği, dar bir yarığı olan kurşun bir levhanın arkasına yerleştirildi; böylece diğer uçta sicim kalınlığında alfa parçacıkları akımı beliriyordu. Ortaya çıkan şey, mikroskobik mermiler ateşleyen dünyanın en küçük makineli tüfeğiydi.

Geiger ve Marsden, ateş hattına yalnızca birkaç bin atom kalınlığında altın bir folyo yerleştirdi. Bu folyo, minyatür makineli tüfekten çıkan tüm alfa parçacıklarının içinden geçebileceği kadar zayıftı. Fakat aynı zamanda, geçiş sırasında parçacıklardan bazılarının rotalarından hafifçe saparak altın atomlarına yaklaşmasına imkân tanıyacak kadar da kuvvetli.

Geiger ve Marsden'in deney yaptıkları dönemde, atomun içindeki bir parçacık halihazırda tespit edilmişti. Söz konusu elektron, 1895 yılında İngiliz fizikçi "J.J." Thomson tarafından keşfedildi ve anlamsız küçüklükteki bu parçacıkların (her biri hidrojen atomundan bile 2000

kat daha küçüktü) elektriğin ele avuca gelmeyen parçacıkları olduğu ortaya çıktı. Atomlardan serbest kalan milyarlarcası bakır bir kablo boyunca dalgalanarak elektrik akımını oluşturuyordu.

Elektron ilk atomaltı parçacıktı ve eksi elektrik yükü taşıyordu. Kimse elektrik yükünün tam olarak ne olduğunu bilmese de, yalnızca iki biçimde bulunduğu biliniyordu: eksi ve artı. Atomlardan oluşan sıradan maddenin net bir elektrik yükü yoktur. O halde, sıradan atomlarda elektronların eksi elektrik yükü her zaman başka bir şeyin artı yüküyle kusursuz bir şekilde dengeleniyor demekti. Zıt kutuplar birbirini çekerken, aynı kutupların birbirini itmesi elektrik yükünün doğal bir özelliğidir. Atomda, eksi yüklü elektronlarla artı yüklü başka bir şeyin arasında çekim kuvveti vardır ve atomu bir arada tutan şey de işte bu çekim kuvvetidir.

Elektronun keşfinin üzerinden çok uzun bir zaman geçmeden, Thomson bu öngörüleri atomun o güne kadarki ilk bilimsel portresini çizmek için kullandı. İngiliz fizikçi atomun bu portresini, artı yüklerin dağılmış olduğu bir kürenin içinde, kekin içindeki üzümler gibi gömülü olan küçük elektron yığınları olarak canlandırdı. Geiger ve Marsden alfa-saçılımı deneyiyle, Thomson'un "atomun üzümlü kek modeli"ni teyit etmeyi umuyordu.

Bu noktada hayal kırıklığına uğrayacak, fakat bambaşka bir şey keşfedeceklerdi.

Üzümlü kek modelinin sonunu getiren, nadiren gerçekleşebilecek, dikkate değer bir olay oldu. Minyatür makineli tüfekten ateşlenen her 8000 alfa parçacığından biri, altın folyosundan sekerek geri dönüyordu!

Thomson'un üzümlü kek modeline göre atom, artı yüklerin oluşturduğu küreye gömülü, iğne başı büyüklüğünde elektron yığınlarından ibaretti. Öte yandan Ge-

iger ve Marsden'in bu zayıf düzeneğe ateşledikleri alfa parçacıkları ise, her biri neredeyse 8000 elektron ağırlığındaki durdurulması imkânsız atomaltı ekspres trenler olarak düşünülebilir. Böyle kütleli bir parçacığın yolundan bu derece sapabilme olasılığı, gerçek bir trenin bir bebek arabasına çarparak yoldan çıkması olasılığına eşdeğerdir. Rutherford'un dediği gibi: "Neredeyse bir defter yaprağına ateşlediğiniz 4 santimlik fişeğin geri sekerek sizi vurması kadar inanılmaz bir olay!"

Geiger ve Marsden'in sıradışı bulguları tek bir anlama gelebilirdi: atom pek de dayanıksız bir şey değildi. Derinliklerine gömülü bir şey, atomaltı ekspres trenini kesinkes durdurup geri yollayabiliyordu. Bu şey ancak atomun tam merkezinde konuşlanmış ve yaklaşan alfa parçacığının artı yükünü iten bir artı yük külçesi olabilirdi. Bu külçe yok olmaksızın büyük kütleli alfa parçacığına dayanabiliyorsa, kendisi de en az alfa parçacığı kadar kütleli olmalıydı. Aslında atomun kütlesinin neredeyse tümünü barındırıyor olması gerekiyordu.

Rutherford atom çekirdeğini keşfetmişti.

Atomun iç yapısıyla ilgili ortaya çıkan tablo, Thomson'un ortaya koyduğu üzümlü kek modeline hiç ama hiç benzemiyordu. Atomun iç yapısı, eksi yüklü elektronların artı yüklü çekirdeğe çekildiği ve bu elektronların çekirdeğin yörüngesinde, güneşin çevresindeki gezegenler gibi döndüğü minyatür bir güneş sistemiydi. Atomun dışına atılmaması için, çekirdeğin kütlesi en az çarpıştığı alfa parçacığı kadar (büyük olasılıkla daha da fazla) olmalıydı. Bu sebeple de, atomun kütlesinin yüzde 99,9'undan fazlasını içermeliydi.[3]

[3] En sonunda fizikçiler, çekirdeğin iki parçacık içerdiğini keşfedecekti; artı yüklü protonlar ve nötr nötronlar. Çekirdeğin içerisindeki protonlar sayıca her zaman, yörüngelerinde dolaşan eş sayıda

Çekirdek çok, çok küçüktü. Yalnızca doğa bu denli küçük bir hacme bu kadar büyük bir artı yükü tıkıştırdığında, çekirdek kendisine doğru gelen bir alfa parçacığına U dönüşü yaptıracak kadar karşı konulmaz bir kuvvet uygulayabilirdi. Bu bağlamda, Rutherford'un atom görüşünün en çarpıcı tarafı, atomdaki korkunç boşluktu. Oyun yazarı Tom Stoppard, bu durumu *Hapgood* oyununda güzel bir şekilde ifade etmiştir: "Şimdi yumruğunu sık; eğer yumruğun atom çekirdeği büyüklüğündeyse, o zaman atom St. Paul Katedrali kadar büyük demektir. Ve şayet bu bir hidrojen atomuysa, etrafında uçuşan tek bir elektronu vardır, tıpkı boş katedralin içinde gezinen bir pervane böceği gibi. Kâh kubbede, kâh mihrapta."

Sağlam görüntüsüne karşın, bildik dünyamız bir hayaletten daha dayanıklı değildir. Madde ister bir sandalye, ister bir insan ya da yıldız biçimini almış olsun, neredeyse tamamen boşluktan ibarettir. Bir atomun sahip olduğu tüm madde algılanması imkânsız küçüklükteki çekirdeğinde barınmaktadır – atomun tamamının 100.000'de biri küçüklüğündeki çekirdeğinde.

Bir başka ifadeyle, madde aşırı ölçüde seyrek bir dağılıma sahiptir. Fazla boşluğu sıkıp çıkartmanın bir yolu olsa, madde zar zor bir yer kaplardı. Aslına bakacak olursanız, bu mümkündür de. İnsan ırkını bir şeker küpünün boyutlarına sıkıştırmanın kolay bir yolu olmasa da, kütleli bir yıldızı mümkün olan en küçük hacme sıkıştırmanın yolu bulunmaktadır. Bu sıkıştırma aşırı düzeyde kütleçekim kuvvetiyle gerçekleşir ve sonuç, bir nötron yıldızıdır. Böyle bir nesne güneş boyutlarında devasa bir

elektronla dengededir. Atomlar arasındaki farklı, çekirdeklerindeki protonların (ve dolayısıyla yörüngelerindeki elektronların) sayısı belirlemektedir. Örneğin hidrojen, çekirdeğinde yalnızca bir protona; uranyum ise tam tamına 92 protona sahiptir.

kütleyi Everest dağından daha büyük olmayan bir hacme sığdırır.[4]

İmkânsız Atom

Rutherford'un, atomu, yoğun bir atom çekirdeğinin etrafında uçuşan elektronlardan oluşan minyatür bir güneş sistemi olarak açıklaması deneysel bilimin zaferiydi. Ne yazık ki ufak bir problemi vardı. Bilinen tüm fizik bilimiyle uyumsuzluk içindeydi!

Maxwell'in, tüm elektriksel ve manyetik olayları açıklayan elektromanyetizma teorisine göre, yüklü bir parçacık hızını ya da yönünü değiştirerek ivmelendiğinde elektromanyetik dalgalar, yani ışık yayar. Elektron, yüklü bir parçacıktır. Çekirdeğin çevresinde dönerken devamlı yön değiştirdiğinden dolayı, çevresine sürekli olarak ışık dalgaları yayınlayan minyatür bir fener gibi davranması gerekir. Problem şu ki, bu durum herhangi bir atom için felaket demektir. Sonuçta ışık olarak yayılan enerji bir yerlerden gelmelidir ve yalnızca elektronun kendisinden gelebilir. Enerjisi sürekli tükenen elektron, atomun merkezine giderek yaklaşan bir helezon çizer. Hesaplamalar saniyenin yüz milyonda birinde, elektronun çekirdekle çarpışması gerektiğini göstermektedir. Bu hesaba göre atomun var olmaması gerekir.

Ama atomlar vardır. Biz ve etrafımızdaki dünya bunun yeterli kanıtıdır. Saniyenin yüz milyonda birinde yok olmak bir kenara, evrenin 14 milyar yıl önceki ilk anlarından bu yana bozulmadan kalabilmişlerdir. Bu yüzden, Rutherford'un ortaya koyduğu atom portresinde kritik bir eksiklik olmalıydı. Bu eksikliğin, çığır açıcı yeni bir fizik türü olduğu anlaşılacaktı: Kuantum Teorisi.

---

[4] *Bkz.* 4. Bölüm, "Belirsizlik ve Bilginin Sınırları"

2

TANRI NEDEN ZAR ATAR?

Atomların Dünyasında Olup Bitenlerin Nedensiz Olduğunu Nasıl Keşfettik

Zamanında bir filozof, "Aynı koşulların her zaman aynı sonuçları doğurması bilimin varoluşu için şarttır," demişti. İyi de, öyle olmuyor ki!

Richard Feynman

Yıl 2025 ve ıssız bir dağın tepesindeki 100 metrelik dev teleskop gece semalarını tarıyor. Teleskop, gözlemlenebilir evrenin sonundaki ilkel bir galaksiye kilitleniyor ve dünyanın doğumunun çok öncesinden beri uzayda yol alan cılız ışık, teleskobun aynası tarafından, aşırı hassas elektronik algılayıcılarda yoğunlaştırılıyor. Teleskobun kubbesinde, yıldız gemisi Enterprise'ın konsolundan çok da farklı olmayan kontrol panelinde oturan gökbilimci-

ler, önlerindeki bilgisayar ekranlarında galaksinin belli belirsiz bir görüntüsünün oluşumunu seyretmekte. Biri sesi açıyor ve kontrol odasını kulakları sağır eden bir çatırdama sesi kaplıyor. Ses, makineli tüfek ateşine, saç çatıyı döven yağmur damlalarının sesine benziyor. Fakat bu, uzayın dipsiz derinliklerinden teleskobun algılayıcılarına yağan ışık parçacıklarının sesi.

Kariyerlerini evrenin en zayıf ışık kaynaklarını görmeye çabalayarak geçiren bu gökbilimcilere göre, ışığın küçük kurşunvari taneciklerden (yani fotonlardan) oluşmuş bir akım olduğu apaçık ortadadır. Ne var ki, çok da uzak olmayan bir geçmişte, bilim dünyasının bu fikri kabul etmesi için büyük patırtılar kopması gerekmişti. Aslına bakılacak olursa, ışığın kesikli paketler (ya da kuantalar) olarak bize ulaştığının keşfedilmesinin, bilim tarihindeki en sarsıcı gelişme olduğu söylenebilir. Bu keşif, 20. yüzyılın öncesinde bilimin üzerini örten rahat battaniyeyi kaldırıp atmış ve fizikçileri, uygar sebep-sonuç ilişkilerini tamamen göz ardı eden ve olayların yalnızca gerçekleştiği için gerçekleştiği bir *Alice Harikalar Diyarı* evreninin haşin gerçekleriyle yüz yüze bırakmıştır.

Işığın fotonlardan oluştuğunu ilk anlayan kişi Einstein olmuştu. Einstein, ışığı küçük parçacıklardan oluşan bir akım olarak ortaya koyduğunda, fotoelektrik etki olarak bilinen olayı da anlamlandırabilmişti. Bir süpermarkete girerken kapıların otomatik olarak açılması, fotoelektrik etki tarafından kontrol edilen bir sistem sayesindedir. Belli başlı metaller ışığa maruz kaldığında, dışarı elektrik parçacıkları, yani elektron yayar. Bu türden bir metal bir fotosele yerleştirildiğinde, üzerine ışık düştüğü sürece küçük bir elektrik akımı üretir. Markete doğru adım atan birisi, bu ışık akışını keser ve bu sa-

yede elektrik akımı da kesilerek, kapıların açılması için gerekli sinyali verir.

Fotoelektrik etkinin pek çok garip özelliğinden biri de, aşırı zayıf bir ışık kullanılsa bile elektronların metalden anında salınmasıdır. Diğer bir deyişle, bu noktada herhangi bir gecikme yaşanmaz.[1] Işık bir dalgaysa, bu olay açıklanamaz. Bunun nedeni, yayılan dalganın metaldeki çok sayıda elektronla etkileşime girecek olmasıdır. Ve de kaçınılmaz bir şekilde bu elektronlardan bazıları diğerlerinden daha sonra harekete geçecektir. Esasen, bazı elektronlar ışık metale yansıtıldıktan yaklaşık 10 dakika sonra bile yayılıyor olabilirdi.

Öyleyse, elektronlar nasıl oluyor da metalden anında atılabiliyor? Bunun tek bir yolu olabilir. Her bir elektron, metalden, tek bir ışık taneciği tarafından atılmaktadır.

Işığın küçük kurşunvari parçacıklardan oluştuğuna dair daha da güçlü bir kanıt, Compton saçılması denilen olaydan gelmektedir. Elektronlar, yüksek enerjili bir ışık türü olan X-ışınlarına maruz bırakıldığında, bilardo toplarının birbirleriyle çarpışarak dağıldığı gibi dağılmaktadır.

Dışarıdan bakıldığında, ışığın küçük parçacıklardan oluşan bir akım olmasının keşfi çok önemli veya şaşırtıcı görünmeyebilir. Fakat sanıldığından çok daha önemlidir. Bunun nedeni, ışığın bir parçacık akımından mümkün olan en farklı şey, yani bir dalga olduğunu gösteren çok fazla sağlam kanıtın da bulunmasıdır.

---

[1] Fotoelektrik olayının bir diğer ilginç özelliği de, metalin üzerine düşen ışığın dalga oyununun (üst üste gelen iki dalga tepisinin arasındaki uzaklığın ölçümü) belli bir eşik değerinin üzerinde olması durumunda, metalin hiç elektron yaymamasıdır. Einstein'a göre bunun nedeni, ışığı oluşturan fotonların enerjisinin, dalga boyu arttıkça azalmasıdır. Ve belli bir dalga boyunun altında, fotonlar metalden elektron atmaya yetecek bir enerjiye sahip olamaz.

Uzay Denizindeki Dalgalanmalar

19. yüzyıl başlarında, Rosetta Taşı'nı Fransız Jean François Champollion'dan bağımsız olarak deşifre etmesiyle ün salmış olan İngiliz fizikçi Thomas Young, ışık geçirmez bir perdede birbirine çok yakın iki dikey yarık oluşturarak perdeyi tek renkli bir ışıkla aydınlattı. Şayet ışık bir dalgaysa, her yarığın yeni bir dalga kaynağı gibi davranacağını ve bu ayrı kaynaklardan çıkan iki ışığın perdenin uzak tarafına, küçük bir gölde oluşan iç içe geçmiş dalgalara benzer şekilde yayılacağını düşündü.

Girişim [*interference*] dalgaların sergilediği karakteristik bir özelliktir. İki benzer dalga birbirinin içinden geçerken, dalga tepelerinin birbirine denk düştüğü noktalarda kuvvetlenir, birinin dalga tepesi diğerinin dalga çukuruna rastladığında ise birbirlerini sönümlendirirler. Sağanak yağmur yağarken bir su birikintisine bakarsanız, her bir yağmur damlacığının oluşturduğu dalgalanmaların yayılarak birbirleriyle "yapıcı" ve "yıkıcı" şekilde girişimde bulunduğunu görürsünüz.

Young, açtığı iki yarıktan çıkan ışığın önüne ikinci bir beyaz perde koydu. Ve bunu yaptığı anda, süpermarket barkodlarındaki gibi, ardı sıra dizilmiş karanlık ve aydınlık şeritler gözlemledi. Bu girişim deseni, ışığın dalga olduğunu gösteren inkâr edilemez bir kanıttı. İki yarıktan çıkan ışığın dalga tepeleri birbirine ayak uydurduğunda ışığın parlaklığı artıyor; uyduramadıklarında ise ışık sönümleniyordu.

Young "çift yarık" düzeneğini kullanarak ışığın dalga boyunu hesaplamayı başardı. Bu dalga boyu, milimetrenin yalnızca binde birine tekabül eden (insan saçından bile daha ince) bir değerdi. Bu değer, daha önce ışığın dalga olabileceğinin neden tahmin edilemediğini açıklıyordu.

Gelecek iki yüzyıl boyunca, Young'ın ışığın uzay denizindeki dalgalanmalar olduğu görüşü, tüm ışık olaylarını açıklamada geçerli oldu. Fakat 19. yüzyılın sonlarına doğru, bu konuda sorunlar yaşanmaya başladı. Her ne kadar ilk zamanlarda çok az kişi farkına varmış olsa da, ışığın dalga olduğu görüşüyle, atomun maddenin en küçük yapı taşı olduğu fikri uzlaşmıyordu. Sorun, ışıkla maddenin bir araya geldiği kesişim noktasındaydı.

Madalyonun İki Yüzü

Işık ve maddenin etkileşimi günlük yaşantımız açısından çok önemlidir. Ampul telindeki atomlar ışık yaymasaydı, evlerimizi aydınlatamazdık. Gözünüzdeki retina tabakasını oluşturan atomlar ışığı soğurmasaydı, bu kelimeleri okuyamazdınız. Problem şu ki, ışık bir dalga olsaydı, atomlar tarafından yayımlanması ve soğurulmasını açıklamak mümkün olmazdı.

Atom uzayda oldukça küçük bir boşluğa sabitlenmiş bir şeyken, ışık dalgası yayılan ve oldukça büyük boşluk kaplayan bir şeydir. Peki öyleyse, ışık atom tarafından soğurulduğunda, böylesi büyük bir şey nasıl olur da küçücük bir şeyin içine sığar? Ve ışık atom tarafından yayımlandığında, böylesi küçük bir şey nasıl olur da kocaman bir şeyi çıkartmayı başarabilir?

Sağduyumuzu kullanarak konuya yaklaşacak olursak, ışığın böylesine küçük ve uzayda belli bir yerde bulunan bir şey tarafından soğurulabilmesi veya yayımlanabilmesi için, ancak kendisinin de aynı oranda küçük ve belli bir yerde bulunan bir şey olması gerektiğini çıkarabiliriz. Söylenegeldiği üzere, "bir yılanın içine en iyi sığan şey yine bir yılandır." Fakat ışık, dalga olarak biliniyordu. Fizikçiler için bu güç durumdan kurtulmanın tek yolu, umutsuzluk içinde kollarını açmaları ve ışığın hem dalga

hem de tanecik olduğunu kabul etmeleriydi. Ancak aynı anda hem bir dalga gibi dağınık hem de uzayda yeri belli olan bir şey olamazdı. Gündelik hayatta bu tam anlamıyla doğrudur. Ne var ki, burada gündelik hayattan değil, mikroskobik dünyadan bahsediyoruz.

Atom ve fotonların mikroskobik dünyasının yakından tanıdığımız hiçbir şeye benzemediği ortaya çıkmaktadır. Hem, aşina olduğumuz nesnelerden milyonlarca kez daha küçük olduklarını düşünürsek, neden benzesinler ki? Işık gerçekten de hem bir parçacık hem de bir dalgadır. Daha doğru bir ifadeyle, ışık, kullandığımız dilde herhangi bir karşılığı ve günlük yaşantımızda mukayese edebileceğimiz herhangi bir benzeri olmayan, "başka bir şeydir." Tıpkı bir madalyon gibi, tüm görebildiğimiz onun ya parçacık yüzü ya da dalga yüzüdür. Işığın gerçekte ne olduğu ise doğuştan görme engelli bir insan için renklerin ifade ettiği şey kadar bilinmezdir.

Işık bazen bir dalga, bazense parçacık akımı gibi davranır. Bu durum, 20. yüzyılın başlarında fizikçiler için kabul edilmesi çok güç bir şeydi. Fakat bir tercih şansları da yoktu; doğanın ortaya koyduğu net olarak buydu. İngiliz fizikçi William Bragg, 1921'de, "Pazartesi, çarşamba ve cuma günleri dalga teorisini; salı, perşembe ve cumartesi günleri ise parçacık teorisini öğretiyoruz," diyerek yaşanan ikilemi kendi mizahi bakış açısıyla değerlendirmişti.

Bragg'ın pragmatist yaklaşımı takdire şayan olsa da, bu mizahi bakış açısı fiziği yıkımdan kurtarmaya yeterli değildi. İlk olarak Einstein tarafından fark edildiği üzere, ışığın ikili dalga-parçacık doğası fizik için tam bir felaket demekti. Ortaya çıkan durum, yalnızca zihinde canlandırılması imkânsız değil, aynı zamanda o güne dek bilinen tüm fizikle de tam bir uyumsuzluk içindeydi.

Kesinliğe Elveda

Bir pencere bulun. Şayet yakından bakacak olursanız, kendi yüzünüzün zayıf bir yansımasını görebilirsiniz. Bunun nedeni camın tamamıyla saydam olmamasıdır. Üzerine çarpan ışığın yüzde 95'ini geçirirken, kalan yüzde 5'ini geri yansıtır. Eğer ışık bir dalgaysa, bunu kavramak oldukça kolaydır. Pencereye vuran ışık dalgası, camdan geçen büyük bir dalgaya ve geri dönen daha küçük bir dalgaya ayrılır. Bir sürat teknesinin kıç tarafında oluşan dalgayı düşünün. Bu tekne, yarıya kadar suya batmış bir şekilde sürüklenen bir tahta parçasına rastladığında, oluşturduğu dalganın büyük bir kısmı yoluna devam ederken, küçük bir dalga parçası ise tahta üzerinden geri döner.

Öte yandan ışığı bir dalga olarak kabul ettiğimizde bu davranışı anlamak ne denli kolaysa, özdeş parçacıklardan oluşan bir akım olarak düşündüğümüzde de aynı ölçüde zordur. Sonuçta tüm fotonlar özdeşse, pencerenin bu fotonların her birini aynı şekilde etkilemesi gerektiğini düşünürüz. Bir futbolcunun defalarca serbest vuruş kullandığını düşünün. Eğer futbol topları özdeşse ve futbolcu her birine tamamen aynı şekilde vurursa, hepsi havada aynı falsoyu alır ve hedefi aynı noktadan vurur. Bu bakış açısıyla, topların çoğu hedefi aynı noktadan vururken, bir kısmının auta çıkacağını düşünmek mantıksız olacaktır.

Öyleyse nasıl oluyor da, birbirinin tamamen aynısı parçacıklardan oluşan bir akım pencereye çarptığında, yüzde 95'i camın içinden geçip giderken, kalan yüzde 5'i geri dönebiliyor? Einstein'ın ortaya koyduğu üzere, bunun tek bir yolu var. "Özdeş" kelimesinin mikroskobik dünyada, gündelik hayatımızdakinden çok daha farklı bir anlama gelmesi gerekiyor – indirgenmiş ve budanmış bir anlama.

Görünen o ki, mikroskobik dünyada, özdeş şeyler özdeş koşullar altında özdeş davranışlar sergilemiyor. Bunun yerine, yalnızca, herhangi bir şekilde davranmak açısından özdeş bir *şansa* sahipler. Pencereye varan her bir fotonun, pencereden geçme (yüzde 95) veya yansıma şansı (yüzde 5), diğer fotonların sahip olduğu şansın aynısı. Herhangi bir fotona ne olacağını kesin olarak bilebilmenin yolu yok. Söz konusu fotonun camdan geçmesi ya da geri yansıması bütünüyle şansa bağlı ve rastgele gerçekleşmekte.

20. yüzyıl başlarında bu öngörülemezlik, dünya için kökten bir yenilikti. Rulet döndükçe üzerinde sıçrayan topu düşünün. Rulet durduğunda topun hangi sayının üzerinde kalacağını bilemeyeceğimizi varsayarız. Ancak durum gerçekte böyle değildir. Şayet topun harekete başladığı rotayı, ilk hızını, hava akımının kumarhanede bir andan diğerine nasıl değişiklik gösterdiğini ve bu türden diğer bilgileri bilebilseydik, fizik kurallarını kullanarak topun nerede duracağını yüzde 100 kesinlikle belirleyebilirdik. Aynı şey yazı-tura atmak için de geçerlidir. Fırlatma anında ne kadar kuvvet uygulandığını, paranın tam olarak şeklini ve diğer verileri bilebilseydik, fizik kuralları paranın yazı mı tura mı geleceğini yüzde 100 kesinlikle belirleyebilirdi.

Gündelik hayatta hiçbir şey kesinlikle öngörülemez değildir. Aynı şekilde, hiçbir şey tamamıyla rastlantısal da değildir. Rulet oyununda veya yazı-tura atıldığında sonucu tahmin edememizin sebebi, hesaplayabileceğimizden çok daha fazla verinin göz önüne alınması gerekliliğidir. Fakat prensip olarak (esas nokta da budur), her ikisini de tahmin etmemizi engelleyecek hiçbir şey yoktur.

Fotonların mikroskobik dünyası ise bunun tam tersidir. Ne kadar veriye sahip olduğumuzun hiçbir önemi yoktur.

Bir fotonun camdan geçeceğini ya da geri yansıyacağını tahmin etmemiz prensipte bile imkânsızdır. Bir rulet topunun her hareketinin bir nedeni vardır; çok sayıda küçük kuvvetin karşılıklı etkileşimi geçerlidir. Ancak bir fotonun gerçekleştirdiği eylemin hiçbir sebebi yoktur! Esas olan, mikroskobik dünyanın öngörülemez oluşudur. Ve bu durum gerçekten de, dünya üzerinde yepyeni bir şeydir.

Ve fotonlar için geçerli olan bu durum, mikroskobik dünyanın tüm sakinleri için de aynı şekilde geçerlidir. Bir bomba, zamanlayıcısı tetiklediği için, titreşimlerden dolayı veya içeriğindeki kimyasallar aniden indirgendiği için patlayabilir. Kararsız (veya "radyoaktif") bir atom ise herhangi bir duruma bağlı olmadan patlayabilir. Şu anda patlayan bir atomla patlamadan önce 10 milyon yıl bekleyen özdeş bir atom arasında gözlemlenebilir hiçbir fark yoktur. Pencereden her baktığınızda yüzünüze vuran sarsıcı gerçek, tüm evrenin rastlantısallık üzerine kurulmuş olduğudur. Einstein bu fikre o kadar bozulmuştu ki, dudaklarını büküp şu açıklamada bulundu: "Tanrı evrenle zar atmaz!"

Sorun ise Tanrı'nın bunu yapmasıdır. İngiliz fizikçi Stephen Hawking'in alaycı bir dille ifade ettiği gibi: "Tanrı evrenle zar atmakla kalmaz, bazen zarları bizim göremeyeceğimiz yerlere de atar!"

Einstein 1921 yılında Nobel Fizik Ödülü'nü ünlü görelilik kuramıyla değil, fotoelektrik olayını açıklamasıyla aldı. Üstelik bu Nobel kurulunun hatalı bir kararı değildi. Einstein'ın kendisi de, "kuantum" üzerine yaptığı çalışmanın, bilim dünyasında gerçekleştirdikleri içinde devrimsel olan tek şey olduğuna inanıyordu. Nobel kurulu da kendisiyle tamamen aynı fikirdeydi.

Işık ile maddenin arasını bulma çabalarından doğan kuantum teorisi, o güne dek bilinen tüm bilimle çatışma

halindeydi. 1900'lerden önce fizik, geleceği tam bir kesinlikle tahmin etmenin reçetesi olarak görülüyordu. Bir gezegen belirli bir noktadayken, Newton'un hareket kanunları ve kütleçekim kanunu kullanılarak ertesi gün hangi noktaya ilerleyeceği kesin bir şekilde öngörülebiliyordu. Uzayda başıboş dolaşan bir atomun durumu ise bunun tam zıttıdır. Bu atom üzerine hiçbir şey kesin bir doğrulukla bilinemez. Öngörebileceğimiz yalnızca olası rotası ile olası son noktasıdır.

Kuantum belirsizlik üzerine kurulmuş olsa da, fiziğin kalanı kesinlik üzerinedir. Bunun fizikçiler için bir sorun olduğunu söylemek biraz hafif kalır! "Fizik verilen koşullar altında neler olabileceğini çözme probleminden vazgeçmiştir," der Richard Feynman. "Yalnızca olasılıkları öngörebiliriz."

Mikrodünya bütünüyle öngörülemez olsaydı, evren kaosun hüküm sürdüğü bir yer olurdu. Ancak durum bu denli kötü değil. Atomlar ve türevlerinin ne yapacağı öngörülemez olsa da, en azından bu öngörülemezlik durumu öngörülebilir!

Öngörülemeyeni Öngörmek

Penceremize geri dönelim. Her fotonun yüzde 95 camdan geçme ve yüzde 5 de geri yansıma olasılığı var. Fakat bu olasılıkları ne belirliyor?

Işığın parçacık ve dalga olarak çizilen iki farklı portresi de aynı sonucu vermek durumundadır. Şayet dalganın yarısı geçiyor ve yarısı yansıyorsa, dalga ve parçacık görüşlerini bağdaştırmanın tek yolu, her bir parçacığın da yüzde 50 geçme ve yüzde 50 yansıma olasılığı olmasıdır. Aynı şekilde, eğer dalganın yüzde 95'i geçiriliyor ve yüzde 5'i yansıtılıyorsa, her bir foton için buna karşılık gelen geçme ve yansıma olasılıkları yüzde 95 ve yüzde 5 olmalıdır.

Işığın bu iki portresi arasında bir uyum olabilmesi için parçacık davranışının, dalga davranışı hakkında bir şekilde "bilgi sahibi" olması gerekir. Bir başka deyişle, mikroskobik dünyada yalnızca dalgalar parçacık gibi değil, parçacıklar da dalga gibi davranmaktadır! Burada mükemmel bir simetri söz konusu. Aslına bakılacak olursa, bu ifade bir anlamda, kuantum kuramı hakkında bilmeniz gereken (birkaç detay dışında) tek şeydir. Geriye kalan her şey bunu kaçınılmaz bir şekilde takip eder. Tüm bu tuhaflık ve mikroskobik dünyanın hayret verici zenginliği, gerçekliğin temel yapı taşlarının dalga-parçacık ikiliğinin doğrudan bir sonucudur.

Ancak ışığın dalga hali, parçacık halini nasıl davranacağı hakkında tam olarak nasıl bilgilendiriyor? Bu hiç de kolay bir soru değil.

Işık kendisini, bir parçacıklar akımı olarak veya dalga şeklinde açığa vurur. Hiçbir zaman bir madalyonun aynı anda iki yüzünü birden görmeyiz. Yani ışığı parçacıklar akımı olarak incelediğimizde, ortada parçacıkları nasıl davranacakları konusunda bilgilendirecek bir dalga yoktur. Dolayısıyla fizikçiler fotonların bir dalga tarafından yönlendirilerek (camın içinden gitmek gibi) bir şeyler yaptığını açıklamakta problem yaşamaktadır.

Bu problemi kendilerine özgü bir yoldan çözmeye girişen fizikçiler, gerçek dalganın yokluğunda, soyut bir dalga hayal etmektedir – matematiksel bir dalga. Kulağa gülünç geliyorsa, şunu söyleyeyim ki, bu fikir ilk olarak 1920 yılında Avusturyalı fizikçi Erwin Schrödinger tarafından ortaya atıldığında, fizikçilerin tepkisi de sizinkiyle aynı olmuştu. Schrödinger tıpkı gölette yayılan bir su dalgası gibi, uzayda yayılan, engellerle karşılaşarak yansıyan ve iletilen soyut bir matematiksel dalga hayal etti. Dalga yüksekliğinin arttığı yerlerde bir parçacığın bulunma olasılığı en üst

düzeydeyken, dalga yüksekliğinin düşük olduğu noktada bu olasılık en alt düzeye inmekteydi. Böylelikle Schrödinger olasılık dalgasıyla, sadece fotonları değil; bir atomdan, atomu teşkil eden elektronlara kadar, tüm mikroskobik parçacıkları nasıl hareket edecekleri hakkında bilgilendiren dalga fonksiyonunu vaftiz etmiş oldu.

Burada ince bir nokta söz konusu. Fizikçiler Schrödinger'in yaklaşımını, herhangi bir noktada parçacık bulunma ihtimali ancak olasılık dalgasının o noktadaki yüksekliğinin karesiyle orantılıysa gerçeğe uydurabiliyorlardı. Başka bir deyişle, uzayda herhangi bir noktada olasılık dalgası başka bir noktada olduğunun iki katı yükseklikteyse, parçacığın orada bulunma ihtimali diğer noktaya göre dört kat büyük olmalıdır.

Olasılık dalgasının kendisinin değil de karesinin fiziksel bir gerçeği ifade ediyor olması, günümüzde bu dalganın, evrenin altında yatan gerçek bir şey mi, yoksa kullanışlı matematiksel bir gereç mi olduğu tartışmalarını doğurmuştur. Bilim adamlarının büyük çoğunluğu ikinci görüşe taraftır.

Olasılık dalgasının kesin bir öneme sahip olmasının nedeni, maddenin dalgasal tarafıyla, su dalgalarından deprem dalgalarına kadar tanışık olduğumuz diğer tüm dalga türleri arasında bağlantı kurmasıdır. Tüm dalgalar, dalga denklemi olarak bilinen bir denkleme riayet eder. Bu denklem, dalgaların uzayda nasıl yayıldığını tanımlayarak, fizikçilerin herhangi bir yer ve zamanda dalga yüksekliğini öngörebilmesine imkân tanımaktadır. Schrödinger'in büyük başarısı, atomlar ve türevlerinin olasılık dalgalarının davranışını tanımlayan dalga denklemini bulmasıdır.

Schrödinger denklemini kullanarak uzayda herhangi bir yer ve zamanda bir parçacık bulunma olasılığını

hesaplamak mümkün. Örneğin pencere camına vuran fotonları tanımlamak ve fotonlardan birini camın diğer tarafında bulmanın yüzde 95'lik olasılığını öngörmek için bu denklem kullanılabilir. Aslında Schrödinger denklemi, foton ya da atom olsun, herhangi bir parçacığın herhangi bir davranışı sergileme olasılığını tahmin etmek için kullanılabilir. Bu durum, fizikçilere mikroskobik dünyada olup bitenleri öngörebilmek için bir köprü oluşturur, yüzde 100 kesinlikle olmasa da, en azından öngörülebilir bir belirsizlik dahilinde!

Olasılık dalgaları üzerine bu konuştuklarımız bizi nereye götürüyor? Mikroskobik dünyada dalgaların parçacıklar gibi hareket ediyor olduğu gerçeği, ister istemez, mikroskobik dünyanın gündelik yaşantımızdan tamamen farklı bir mekanizmaya sahip olduğunu anlamamıza yol açıyor. Mikroskobik dünyada rastlantısal bir belirsizlik hüküm sürmektedir. İlk kez ortaya çıktığında bu gerçek, saat gibi işleyen öngörülebilir bir evrene inanan fizikçiler için tam anlamıyla sarsıcı bir darbe olmuştu. Ve anlaşıldığı kadarıyla bu durum sadece başlangıçtı. Zaman içinde, doğanın zulasında birçok sarsıcı gerçek daha olduğu anlaşıldı. Yalnızca dalgaların parçacık gibi davranıyor olmayıp, parçacıkların da dalga davranışları sergiliyor olması, su ve ses dalgaları gibi bize daha tanıdık gelen dalgaların yapabildiği her şeyi, atomların, fotonların ve türdeşlerinin davranışlarını ileten olasılık dalgalarının da yapabileceğini anlamamızı sağladı.

Yani? Durum şu ki, dalgalar birçok farklı davranışta bulunabilir. Ve bu davranışların her birinin mikroskobik dünyada yarı-mucizevi sonuçlar doğurduğu anlaşılmıştır. Dalgaların yapabileceği şeylerden en açık olanı, süperpo-

zisyon[2] halinde var olabilmeleridir. Süperpozisyon, bir atomun aynı anda iki farklı yerde bulunabilmesine imkân tanır. Sizin aynı anda hem Londra hem de New York'ta bulunmanız gibi.

[2] Üst üste binme durumu –çn.

3

ŞİZOFREN ATOM

Bir Atom Nasıl Aynı Anda Birden Çok Yerde Olabilir ve Birden Çok Şey Yapabilir

Abaküsle dünyanın en hızlı süper-bilgisayarı arasındaki farkı düşündüğünüz takdirde bile bir kuantum bilgisayarının günümüzün bilgisayarlarından ne kadar daha güçlü olduğunu anlamanın yakınından geçemezsiniz.
Julian Brown

Yıl 2041. Küçük bir çocuk, odasındaki bilgisayarın başına oturuyor. Bu sıradan bir bilgisayar değil. Bu bir kuantum bilgisayarı. Çocuk bilgisayara bir komut veriyor... Aynı anda bilgisayar kendi binlerce kopyasına bölünüyor ve her biri problemin farklı bir dalı üzerinde çalışmaya koyuluyor. Yalnızca birkaç saniye sonra, dallar yeniden bir

araya geliyor ve bilgisayarın gösterge panelinde tek bir cevap yanıp sönüyor. Dünyadaki bütün bilgisayarlar bir arada çalıştırılsa bile bu cevabı bulmaları trilyonlarca yıl alırdı. Sonuçtan memnun olan çocuk bilgisayarı kapatıyor ve oyununa geri dönüyor. Bu akşam için ev ödevi bitmiş durumda.

Çocuğun bilgisayarının yapabildiğini aslında hiçbir bilgisayar yapamaz, değil mi? Bir bilgisayarın bunu yapabileceği gerçeği bir kenara, bu bilgisayarların taslak halindeki ilk versiyonları günümüzde bile mevcuttur. Üzerinde ciddi tartışmaların döndüğü asıl nokta ise, bu türden bir kuantum bilgisayarının yalnızca çok fazla sayıdaki bilgisayarın toplamı gibi mi çalışacağı, yoksa bazılarının inandığı gibi, kendi kendisinin paralel gerçeklikler veya evrenlerde var olan birçok farklı kopyasının bilgi işlem gücünden mi yararlanacağı sorusudur.

Kuantum bilgisayarının temel özelliği olan aynı anda birçok işlemi birden yapabilme yetisi, dalgaların (dolayısıyla da, dalgalar gibi davranan atom ve fotonların da) yapabildiği iki şeyden kaynaklanmaktadır. Bunlardan ilki, okyanus dalgalarında görülebilir.

Okyanusta hem büyük dalgalar hem de küçük dalgacıklar oluşur. Ancak rüzgârlı bir günde dalgalı bir denizi seyreden herkesin bilebileceği gibi, büyük dalgaların üzerinde küçük dalgacıklar da görebilirsiniz. Bu, tüm dalgaların genel bir özelliğidir. Eğer iki farklı dalga var olabiliyorsa, aynı şekilde, dalgaların bir kombinasyonu, yani süperpozisyonu da var olabilir. Süperpozisyon gerçeği, gündelik dünyada önemsiz bir şey gibi görünebilir. Ancak atomlar ve bileşenlerinin dünyasında, bu durumun etkileri sarsıcı düzeydedir.

Bir kez daha, pencere camına vuran fotonu düşünelim. Schrödinger denkleminin ortaya koyduğu gibi, foton ne yapacağı konusunda bir olasılık dalgası tarafından bilgilendirilir. Fotonun camdan geçmesi de, geri yansıması da olasılık dahilinde olduğundan, Schrödinger denklemi iki dalganın varoluşuna imkân tanımalıdır – biri camdan geçip gidecek, diğeri de geri yansıyacak foton için. Burada şaşırtıcı bir durum yok. Fakat şunu unutmamak gerekiyor ki, aynı anda iki dalganın birden var olmasına imkân tanındığında, bu dalgaların bir süperpozisyonunun var olmasına da imkân tanınmış olur. Deniz dalgaları için konuşacak olursak, bu türden bir kombinasyon kimse için inanılmaz bir durum değildir. Ancak atomların dünyasında söz konusu kombinasyon olağanüstü sayılabilecek bir duruma tekabül eder: aynı anda hem camdan geçen hem de geri yansıyan bir fotonun varlığına. Diğer bir deyişle, foton aynı anda camın iki tarafında birden bulunabilmektedir.

Tahayyül sınırlarımızı zorlayan bu özellik, iki kaçınılmaz gerçekten kaynaklanıyor: fotonların dalgalar tarafından tanımlandığı ve dalgaların süperpozisyon hallerinin olası olduğu gerçeklerine.

Bu uçuk bir teori değil. Yapılan deneylerde, aynı anda iki yerde birden bulunan bir foton ya da atomu gözlemlemek gerçekten de mümkündür (daha doğru bir ifadeyle ortaya koyacak olursak, aynı anda iki yerde birden bulunan bir foton ya da atomun *neden olduğu sonuçları* gözlemlemek mümkündür). Bu durumun gündelik hayatımızdaki karşılığı, aynı anda hem San Francisco hem de Sydney'de bulunabilmenizdir. Dahası, üst üste binecek dalgaların sayısının bir sınırı olmadığından, bir foton ya da atom aynı anda üç, on ya da bir milyon yerde olabilir.

Öte yandan mikroskobik bir parçacıkla bağlantılı olasılık dalgası, bu parçacığa nerede *bulunabileceğinden* daha fazla bilgi vermektedir. Olasılık dalgası, parçacığa tüm durumlar dahilinde *nasıl davranacağını* da bildirir (örneğin bir fotona, pencere camının içinden geçip geçmeyeceğini ya da camdan geri yansıyıp yansımayacağını). Dolayısıyla atomlar ve türevleri yalnızca aynı anda birçok yerde bulunabilmekle kalmaz, *aynı anda birçok işi* de gerçekleştirebilirler. Bunun gündelik yaşantımızdaki karşılığı ise aynı anda ev temizliği yapmanız, köpeği dolaştırmanız ve haftalık süpermarket alışverişini halletmenizdir. Kuantum bilgisayarının muazzam gücünün ardındaki giz budur. Atomların aynı anda birçok işi yapabilme yetisini kullanan kuantum bilgisayarları, aynı anda çok sayıda hesaplamayı yapabilmektedir.

Aynı Anda Birçok Şey Yapmak

Günümüz bilgisayarının temel yapı taşı transistörlerdir. Transistörler iki farklı gerilim seviyesinde bulunabilir; bunlardan biri ikili basamaklardan (bitlerden) "0"ı, diğeri ise "1"i temsil eder. Sıfır ve birlerin oluşturduğu bir sıra, çok büyük bir sayıyı temsil edebilir ve bilgisayar içinde bu sayı, bir başka büyük sayıyla toplanabilir, çıkarılabilir, çarpılabilir ve bölünebilir.[1] Öte yandan bir kuantum

[1] İkilik sayı sistemi, 17. yüzyıl matematikçisi Gottfried Leibniz tarafından keşfedilmiştir. Bu sistem, tüm sayıları 0 ve 1'lerden oluşmuş serilerle ifade etmenin bir yoludur. Genellikle sayıları ifade ederken ondalık sayı sistemini (ya da 10'un kuvvetlerini) kullanırız. En sağdaki basamak birleri temsil ederken, bir sonraki basamak onları, bir sonraki 10 x 10'ları temsil eder ve bu şekilde devam eder. Örneğin 9217'nin karşılığı, 7 + 1 x 10 + 2 x (10 x 10) + 9 x (10 x 10 x 10)'dur. İkilik sistemde ise en sağ basamak birileri, sonraki basamak ikileri, sonraki basamak 2 x 2'leri temsil eder ve bu şekilde devam eder. Dolayısıyla 1101'in karşı-

bilgisayarının temel yapı taşları süperpozisyon konumunda da bulunabilir. Diğer bir deyişle, aynı anda hem "0"ı hem de "1"i temsil edebilirler. Fizikçiler, kuantum bitlerini normal bitlerden ayırt edebilmek için, şizofren kuantum bitleri (ya da "kubit") terimini kullanmaktadır.

Tek bir kubit iki durumda (0 ya da 1), iki kubit dört durumda (00, 01, 10 ya da 11), üç kubit sekiz durumda bulunabilir ve bu şekilde devam eder. Dolayısıyla tek bir kubit üzerinde aynı anda iki farklı işlem, iki kubitle dört farklı işlem, üç kubitle sekiz farklı işlem yapabilirsiniz ve kubit sayısı arttıkça, aynı anda gerçekleştirebileceğiniz işlem sayısı da 2'nin kuvvetleri olarak artar. Bu sizi etkilemediyse, 10 kubitle aynı anda 1024 işlem ve yalnızca 100 kubitle milyarlarca işlem yapabileceğinizi söylemek isterim! Hiç de şaşırtıcı olmayan bir şekilde kuantum bilgisayarlarının bu potansiyeli karşısında fizikçilerin ağzı sulanmaktadır. Kuantum bilgisayarlarının günümüz bilgisayarlarını bazı hesaplamalarda performans açısından silip geçeceği anlaşılmıştır. Geleneksel bilgisayarlar performans açısından kuantum bilgisayarlarının yanında geri zekâlı gibi görünmektedir.

Fakat bir kuantum bilgisayarının çalışması için, dalga süperpozisyonları tek başlarına yeterli değildir. Dalga süperpozisyonlarının ihtiyaç duyduğu bir başka şey de, girişimdir.

Thomas Young tarafından 18. yüzyılda gözlemlenen ışığın girişimi, ışığın bir dalga olduğu konusunda herkesin ikna olmasını sağlayan esas çalışma oldu. 20. yüzyılın başlangıcında, ışığın aynı zamanda bir parçacık akımı olarak da davrandığı ortaya konduğunda ise Young'un çift yarık deneyi yeni ve umulmadık bir önem kazandı. Deney, mikroskobik dünyanın en merkezi özelliğini ortaya çıkarıyordu.

---

lığı ikilik sistemde 1 + 0 x 2 + 1 x (2 x 2) + 1 x (2 x 2 x 2); ondalık sistemde 13'tür.

Kilit Nokta, Girişim

Young'ın deneyinin bu modern yorumunda, ışık geçirmeyen bir perde üzerindeki çift yarık, artık kimsenin inkâr edemeyeceği şekilde parçacık akımı olduğu anlaşılan ışıkla aydınlatıldı. Yinelenen deneyde esas nokta, her seferde tek bir foton yollanmasını sağlayacak kadar zayıf bir ışık kullanmaktı. İkinci perdenin farklı noktalarındaki duyarlı dedektörler ise perdeye ulaşan fotonları sayıyordu. Fakat deneyin sürdüğü belli bir zaman diliminin ardından dedektörler dikkate değer bir şey gösterdi. İkinci perde üzerinde bazı yerler üzerine foton yağarken, bazı yerlere ise kesinlikle foton ulaşmıyordu. Dahası, fotonların ulaştığı yerler ile hiçbir fotonun uğramadığı yerler, dikey çizgiler oluşturarak, dönüşümlü olarak değişmekteydi – tıpkı Young'ın orijinal deneyindeki gibi.

Durun bir dakika! Young'ın deneyinde oluşan karanlık ve aydınlık şeritlerin nedeni girişimdi. Ve de girişimin temel özelliği, aynı kaynaktan gelen iki farklı dalganın birbirine girmesiydi; bir yarıktan geçen ışığın, diğer yarıktan geçen ışıkla iç içe geçmesi gerekiyordu. Ancak gerçekleştirilen yeni deneyin her bir turunda, ilk perde üzerindeki çift yarığa ulaşan tek bir foton söz konusuydu. Her bir foton bütünüyle yalnızdı; kendisine eşlik eden ve girişimde bulunabileceği başka fotonlar yoktu. Öyleyse, herhangi bir girişim nasıl oluyordu? Bir foton, diğer fotonların nereye ineceğini nasıl bilebiliyordu?

Bunun olabilmesi için tek bir yol olduğu anlaşılarak, her bir fotonun bir şekilde aynı anda her iki yarıktan birden geçtiği düşünüldü. Yarıklardan geçtikten sonra ise kendi kendisiyle girişimde bulunuyordu. Diğer bir deyişle, her bir fotonun, farklı iki durumun süperpozisyonunda olması gerekiyordu – soldaki yarıktan geçen fotonun

bağlı olduğu bir dalga ve sağdaki yarıktan geçen fotonun bağlı olduğu bir diğer dalga.

Çift yarık deneyi fotonlarla, atomlarla ya da diğer mikroskobik parçacıklarla gerçekleştirilebilir. Bu deney, gözlemlenen parçacıkların (ikinci perde üzerinde nereye saldırabilecekleri ve nereye saldıramayacaklarını belirleyen) dalgasal benlikleri tarafından nasıl yönetildiklerini şematik olarak ortaya koymaktadır. Ancak çift yarık deneyinin gösterdiği yalnızca bu değildir. Deneyle anlaşılan en önemli nokta, süperpozisyon durumuna geçen ayrı dalgaların pasif olmadığı; aksine, birbirleriyle aktif bir şekilde girişimde bulunabildikleri olmuştur. Bir süperpozisyonun ayrı durumlarının birbirleriyle girişimde bulunabilme yetisi, kuantum fenomenini tüm yönleriyle ortaya koyarak mikroskobik dünyanın kapılarını açan esas anahtardır.

Kuantum bilgisayarlarını ele alalım. Bu bilgisayarların aynı anda birçok işlemi birden yapabilmesinin nedeni, farklı durumların süperpozisyonu olarak var olabilmeleridir. Örneğin 10 elementli (yani 10 kubitlik) bir kuantum bilgisayarı aynı anda 1024 farklı durumda bulunabilir ve dolayısıyla aynı anda 1024 işlem gerçekleştirebilir. Öte taraftan yeniden bir araya gelmedikleri sürece, bir işlemin farklı noktalara açılmış dallarının hiçbir değeri yoktur. Bunu gerçekleştiren ise girişimdir. Girişim sayesinde, süperpozisyonun 1024 farklı durumu birbirleriyle etkileşime girebilir ve birbirlerini etkileyebilir. Yine girişim sayesinde, kuantum bilgisayarının elde ettiği tek bir cevap, 1024 paralel işlemin tümünde ne olup bittiğini yansıtır ve bir araya getirir.

1024 ayrı parçaya ayrılmış ve her bir parçanın üzerinde tek bir kişinin çalıştığı bir problem düşünün. Problemin çözüme ulaştırılması için, söz konusu 1024 kişi birbirleriyle sürekli iletişim halinde olmalı ve elde ettikleri

sonuçları değiş-tokuş etmelidir. Girişimin kuantum bilgisayarlarında mümkün kıldığı şey işte budur.

Burada bahsetmemiz gereken bir diğer önemli nokta, her ne kadar süperpozisyonlar mikroskobik dünyanın temel bir özelliği olsa da, aslında hiçbir zaman gözlemlenememeleridir. Tek görebildiğimiz varlıklarının sonuçlarıdır – bir süperpozisyonun farklı durumları birbirleriyle girişimde bulunduğunda ortaya çıkan sonuçlardır bunlar. Örneğin çift yarık deneyine bakacak olursak, gözlemleyebildiğimiz yalnızca girişim desenidir; bu desen üzerinden, süperpozisyon durumunda olan ve aynı anda iki yarıktan birden geçen bir elektron olduğu sonucunu çıkarırız. Aynı anda iki yarıktan birden geçen bir elektronu *yakalayabilmemiz* ise imkânsızdır. Bir atomu aynı anda iki yerde birden görmenin değil, ancak aynı anda iki yerde birden bulunan bu atomun *neden olduğu sonuçları* gözlemlemenin mümkün olabileceğine dair açıklamayla anlatılmak istenen de budur.

Çoklu Evren

Kuantum bilgisayarlarının aynı anda muazzam sayıda işlem yapabilmeye yönelik olağanüstü gücü bizim için bilmece durumundadır. Bununla birlikte, günümüzün kuantum bilgisayarları henüz ilkel bir düzeyde ve yalnızca bir avuç kubit üzerinden işlem yapabiliyor olsa da, aynı anda milyarlarca, trilyonlarca ya da katrilyonlarca işlem yapabilecek bir kuantum bilgisayarını hayal etmemiz imkânsız değildir. Aslında önümüzdeki 30 ya da 40 yıl içerisinde, aynı anda evrende var olan parçacıklardan daha fazla işlem yapabilecek bir kuantum bilgisayarı inşa edebiliriz. Bu varsayımsal durum önümüze zor bir soru koyuyor: Bu bilgisayar işlemlerini tam olarak nerede gerçekleştirecektir? Sonuçta, bu türden bir bilgisayar

aynı anda evrende var olan parçacıklardan daha fazla işlem yapabiliyorsa, o zaman evrenin işlem kaynaklarının bu makinenin gerçekleştireceği işlemler açısından yetersiz kalacağı öne sürülebilir.

Çözülmesi imkânsız gibi görünen bu durumdan çıkmamızı sağlayabilecek olağanüstü bir olasılık, kuantum bilgisayarlarının işlemlerini paralel gerçekliklerde ya da evrenlerde gerçekleştiriyor oluşudur. Bu fikir, 1957 yılında Princeton'da yüksek lisans eğitimine devam etmekteyken, kuantum teorisi atomların mikroskobik dünyasının dâhiyane bir açıklaması olduğu halde, neden hiçbir zaman süperpozisyonları göremediğimizi merak eden, Hugh Everett adlı öğrenciye dayanmaktadır. Everett'in bu soruya verdiği olağanüstü cevap, süperpozisyonun her bir farklı durumunun bütünüyle farklı bir gerçeklikte var olduğu olmuştur. Diğer bir deyişle, tüm olası kuantum olaylarının gerçekleştiği çok sayıda farklı gerçeklik (çoklu evren) söz konusudur.

Everett "Çoklu Dünyalar" fikrini, kuantum bilgisayarlarının ortaya çıkışından çok uzun zaman önce öne sürmüş olsa bile yine de konu üzerine faydalı bir açılımı olabilir. Çoklu Dünyalar fikrine göre, kuantum bilgisayarına bir problem verildiğinde, bilgisayar kendi kopyalarına ayrılmakta ve her bir kopya farklı bir gerçeklikte var olmaktadır. Bu bölümün başında bahsettiğimiz küçük çocuğun kişisel kuantum bilgisayarının, birçok farklı kopyasına ayrılmasının nedeni budur. Bilgisayarın her bir kopyası problemin farklı bir parçası üzerinde çalışmakta ve en sonunda bu farklı parçalar girişim tarafından yeniden bir araya toplanmaktadır. Bu bağlamda, Everett'in fikri açısından girişimin çok mühim olduğunu söyleyebiliriz. Farklı evrenler arasında köprü görevi gören, bu evrenlerin birbirleriyle etkileşime girmelerine ve birbirlerini etkilemelerine imkân tanıyan, girişimdir.

Fakat Everett'in tüm bu paralel evrenlerin nerede bulunduğuna dair hiçbir fikri yoktu. Dahası, Çoklu Dünyalar fikrinin günümüzdeki savunucularının da buna tatmin edici bir cevabı olduğu söylenemez. Douglas Adams'ın *Otostopçunun Galaksi Rehberi*'nde (*Hitchhiker's Guide to the Galaxy*) alaylı bir ifadeyle belirttiği gibi: "Paralel evrenler söz konusu olduğunda aklınızda tutmanız gereken iki şey vardır. Birincisi gerçekten paralel olmadıkları; ikincisi ise gerçekten evren olmadıkları!"

Tüm bu bilmecelere rağmen, Everett tarafından öne sürülmesinin üzerinden geçen yarım yüzyılın ardından Çoklu Dünyalar fikri yeniden popülerlik kazanıyor. Her gün sayıları artmakta olan ve aralarında Oxford Üniversitesi'nden David Deutsch gibi önemli isimlerin de bulunduğu birçok fizikçi, bu fikri ciddiye alıyor. Deutsch, *Gerçekliğin Dokusu* (*The Fabric of Reality*) isimli kitabında, "Paralel evrenlere yönelik kuantum teorisi, birtakım teorik muammalardan doğan baş belası bir yorum değildir," demektedir. "Bu fikir sezgilere aykırı, ancak dikkate değer bir gerçekliğin *açıklamasıdır* – makul olan tek açıklama."

Eğer Deutsch gibi düşünecek olursanız (ki Çoklu Dünyalar fikri düşünülebilecek her deney için kuantum teorisinin daha geleneksel yorumlarıyla aynı neticeyi öngörmektedir), o halde kuantum bilgisayarları köklü bir yeniliktir. Bu bilgisayarlar, birden çok gerçekliğin kaynaklarını kullanan, insan elinden çıkma ilk makineler olabilir. Çoklu Dünyalar fikrine inanmasanız bile fikir gizemli kuantum dünyasında neler olup bittiğini anlayabilmemiz için basit ve kolaylıkla algılanabilen bir yol sunmaktadır. Örneğin çift yarık deneyinde, aynı anda iki yarıktan birden geçen ve kendisiyle girişimde bulunan tek bir foton düşünmek şart değildir. Bunun yerine, bir yarıktan geçen

bir foton, diğer yarıktan geçen bir başka fotonla girişimde bulunabilir. Hangi başka foton, diye sorabilirsiniz. Komşu bir evrendeki foton, elbette!

Neden Yalnızca Küçük Şeyler Kuantumdur

Kuantum bilgisayarları, inşası aşırı derecede zor olan makinelerdir. Bunun nedeni, bir kuantum süperpozisyonunun farklı durumlarının birbirleriyle girişimde bulunma yetisinin çevresi tarafından yok edilmesi ya da ciddi bir şekilde indirgenmesidir. Bu yıkım çift yarık deneyinde canlı bir şekilde görülebilir.

Yarıkların birinden geçen bir parçacığı ayırt edebilmek için bir tür parçacık dedektörü kullanılacak olursa, perdedeki girişim şeritleri hemen gözden kaybolur ve yerini, az çok tekdüze bir aydınlanma alır. Parçacığın hangi yarıktan geçtiğini gözlemleme davranışı, parçacığın aynı anda her iki yarıktan birden geçtiği süperpozisyon durumunu yok etmek için yeterlidir. Ve tek bir yarıktan geçen bir parçacığın girişim sergilemesini beklemek, tek elinizle bir şeyi alkışlamaya çalışırken ses çıkmasını beklemekten farksızdır.

Gerçekte burada olan şey, parçacığın dış dünya tarafından yerinin saptanması ya da ölçülmesi için çalışılmasıdır. Süperpozisyonun dış dünya tarafından bilinmesi, yok olması için kâfidir. Bu bağlamda, kuantum süperpozisyonlarının neredeyse gizli bir şey olduğu söylenebilir. Anlaşıldığı anda yok olacak bir giz!

Süperpozisyonlar *sürekli olarak* kendi çevreleri tarafından ölçülmektedir. Tek bir fotonun süperpozisyondan sekerek dış dünyaya bilgi taşıması, süperpozisyonun yok olmasına yetecektir. Bu doğal ölçüm sürecine evre uyumsuzluğu[2] denmektedir. Gündelik dünyada tuhaf kuantum

[2] Decoherence –yn.

davranışlarını görmüyor oluşumuzun nedeni evre uyumsuzluğudur.[3] Naif bir şekilde kuantum davranışlarının insanlar ya da ağaçlar gibi büyük şeylerin değil, atomlar gibi küçük şeylerin bir özelliği olduğunu düşünebiliriz. Fakat böyle kesin bir kaide de yoktur. Kuantum davranışı aslında *yalıtılmış* şeylerin bir özelliğidir. Bu davranışı gündelik hayat yerine mikroskobik dünyada görmemizin nedeni, küçük bir şeyi kendisini çevreleyen unsurlardan yalıtmanın, büyük bir şeye nazaran çok daha kolay olmasıdır.

Bu nedenle, kuantum şizofrenisinin ihtiyaç duyduğu şey yalıtımdır. Atom gibi mikroskobik bir parçacık dış dünyadan yalıtılmış bir şekilde kaldığı sürece, aynı anda birçok şey yapabilir. Bu durum, kuantum şizofrenisinin gündelik bir olay olduğu mikroskobik dünyada zor bir şey değildir. Öte taraftan içinde yaşadığımız ve her saniye içinde katrilyonlarca fotonun nesnelere çarparak sektiği büyük ölçekli dünyamızda, bu neredeyse imkânsız bir durumdur.

Kuantum bilgisayarları üzerinde çalışan fizikçilerin önündeki temel engel, bilgisayarı çevresinden yalıtılmış bir şekilde tutabilmektir. Bugüne dek yapılabilen en büyük kuantum bilgisayarı yalnızca 10 atomdan oluşmakta ve 10 kubit üzerinden işlem gerçekleştirmektedir. Burada fizikçilerin tüm gücünü yönelttiği şey, makineyi oluşturan 10 atomu herhangi bir süre boyunca çevresinden yalıtılmış bir şekilde tutmaktır. Tek bir foton bile bilgisayar-

[3] Kuantumun öğrenildiği anda yok olmasına yol açacak "gizli" bir şey olduğuna dair tüm bu konuşmaların çok basite indirgenmiş olduğunun farkındayım. Ancak sürdürdüğümüz tartışma açısından bu kadarı yeterli. Şizofren süperpozisyonlarıyla kuantum dünyasının, ağaçların ve insanların aynı anda iki yerde birden bulunamadığı gündelik dünyaya dönüşmesini sağlayan evre uyumsuzluğu kavramı, halen uzmanların kafa patlattığı bir durum. Bu konuda gerçek bir açıklama için 5. Bölüm, "Telepatik Evren"e bakabilirsiniz.

dan sekerse, 10 şizofren atom anında 10 sıradan atoma dönüşür.

Evre uyumsuzluğu, kuantum bilgisayarlarının bir sınırını ortaya koyduğu halde, bu gerçek, kuantum bilgisayarları hakkında çıkan abartılı haberlerde çok fazla yer almaz. Bir cevap almak için, dış dünyadan birisi (diyelim ki siz) makineyle etkileşime geçmek durumundadır. Bu etkileşim de süperpozisyonu anında ortadan kaldırır; kuantum bilgisayarı birdenbire normal bir bilgisayara dönüşür. 10 kubitlik bu makine, 1024 farklı işlemin sonucunu vermek yerine aynı anda ancak tek bir hesaplama yapabilen sıradan bir makine olur.

Dolayısıyla kuantum bilgisayarlarının yapabildiği, yalnızca tek bir yanıtı olan paralel işlemlerle sınırlanmıştır. Bu nedenle, günümüzde kuantum bilgisayarının çözebileceği sınırlı sayıda problem vardır. Genelde söylenegeldiği üzere, kuantum bilgisayarları dilimlenmiş ekmekten bu yana en büyük icat da değildir. Yine de bir kuantum bilgisayarının güçlü yanlarına hitap eden bir problem bulunduğunda, bu kuantum bilgisayarı, normalde evrenin sonuna dek sürecek bir hesaplamayı birkaç saniye içinde gerçekleştirerek, performans açısından günümüzün süperbilgisayarlarını gülünç bir duruma düşürebilir.

Kuantum bilgisayarlarını üretmek için didinen uzmanların en büyük düşmanı olan evre uyumsuzluğu, aynı zamanda bu uzmanların en büyük müttefikidir de. Sonuçta, girişimde bulunan tüm farklı dallarıyla işlem sürdüren bir kuantum bilgisayarının süperpozisyon durumunun en sonunda bozulmasının nedeni, evre uyumsuzluğudur. Bu türden bir makinenin işimize yarayacak bir çıktı, yani tek bir duruma indirgenerek tek bir sonuç vermesi için süperpozisyon durumunun bozulması gerekir. Haklısınız, kuantum dünyası paradokslarla örülü.

4

BELİRSİZLİK VE BİLGİNİN SINIRLARI

Atomlar Hakkında Bilmek İsteyeceklerimizin Tamamını Neden Hiçbir Zaman Bilemeyeceğiz ve Neden Bu Gerçek Atomları Olası Kılıyor

Kuantum topraklarının içlerine doğru ilerledikçe, yolcularımız birçok ilginç olaya daha tanık oldu. Bunlardan biri de, küçük kütleleri yüzünden nerede oldukları zar zor belirlenebilen kuantum sivrisinekleriydi.
George Gamow

Aklını kaçırmış olmalıydı. Gıcır gıcır Ferrari'sini daha az önce garajına park etmişti. Hatta garaj kapısı otomatik olarak kapanırken önünde bir süre dikilmiş, duyduğu gurur ve keyfi son anına dek yaşamak istemişti. Ardından çakıllı yoldan evine doğru yürürken birdenbire

rüzgâr çıktı ve zemin hafif şekilde sarsıldı. İstemdışı olarak, gerisingeri garaj yoluna doğru yürüdü.

Ferrari'si kapalı olan garaj kapısının önündeydi!

Bu türden Houdini tarzı kaçış olayları elbette ki gündelik hayatımızda görülmez. Öte taraftan ultra-küçük parçacıkların dünyasında, bu olaylar sürekli vuku bulan şeylerdir. Bir an için, bir atomu mikroskobik bir hücrenin içine kilitlersiniz ve bir an sonra, kelepçelerini kırıp atarak sessizce gecenin içine doğru süzülmüş bir atomunuz olur.

Kaçmanın olanaksız olduğu hücrelerden bu mucize kabilinden kaçma becerisi, mikroskobik parçacıkların, dalgaların yaptığı her şeyi yapabilmesine imkân tanıyan dalgasal yüzüyle bağlantılıdır. Ve dalgaların yapabildiği şeylerden biri de, geçilemez görünen engelleri aşıp geçmektir. Bu, apaçık şekilde ortada olan ya da herkes tarafından bilinen bir dalga özelliği değildir. Fakat bu özellik, cam bir blokun içinde yol alan ve blokun dışına kaçmaya çalışan bir ışık huzmesiyle gözlemlenebilir.

Burada önemli olan, cam blokun havayla birleştiği sınır noktasında ne olduğudur. Işık bu sınıra, yani camın kenarına dar bir açıyla çarpacak olursa, tekrar cam blokun içine doğru yansıtılır ve havaya kaçma girişimi başarısızlıkla sonuçlanır. Işık görünürde cam blokun içinde hapistir. Öte yandan blokun hemen yanına (aralarında ancak dar bir hava boşluğu kalacak kadar uzaklıktaki bir noktaya) bir başka cam blok konulduğunda, bambaşka bir şey gerçekleşir. İkinci blokun yerleştirilmesinin ardından, cama çarpan ışığın bir kısmı –ilk durumda olduğu gibi– geri yansıtılır. Ancak bu defa, ışığın bir kısmı da, bloklar arasındaki hava boşluğunu aşarak ikinci cam blokun içinde yoluna devam eder.

Garajından kaçan Ferrari ve cam bloktan kaçan ışık arasındaki paralellik çok net olmayabilir. Ancak pratikte, Ferrari için kapalı garaj duvarı nasıl geçilemezse, bloklar arasındaki hava boşluğu da ışık için aynı şekilde aşılamaz olmalıdır.

Işık dalgasının, önündeki engeli aşarak cam bloktan kaçabilmesinin nedeni, dalganın belli bir yerde bulunan değil, uzayda yayılan bir şey olmasıdır. Işık dalgaları camhava engeline saldırıp yeniden camın içine yansıtıldığında, çarparak yansıtıldıkları yer aslında camın kenarı değildir – camın ötesindeki havanın içinde kısa bir mesafe katetmektedirler. Dolayısıyla çıktıkları cam blokun içine tekrar dönmeden önce bir başka cam blokla karşılaşırlarsa, yollarına devam edebilirler. İlk cam blokun hemen dibine, aralarında ancak bir saç teli kadar boşluk olacak şekilde bir başka blok yerleştirin; ışık çoktan aradaki hava boşluğunu atlamış ve tutulduğu hücreden kaçmıştır bile!

Geçilemeyeceği düşünülen engelleri geçebilme yetisi, ışık dalgalarından ses dalgalarına ve atomlarla bağlantılı olasılık dalgalarına dek, tüm dalga türleri için geçerlidir. Dalgaların bu özelliğini mikroskobik dünyada görebiliriz. Bu konu üzerine verilebilecek muhtemelen en çarpıcı örnek, alfa parçacığının atom çekirdeği gibi kaçmanın imkânsız olduğu düşünülen bir hapishaneden kaçabildiği alfa bozunumu olayıdır.

Çekirdekten Kaçış

Alfa parçacığı helyum atomunun çekirdeğidir. Kararsız –radyoaktif– bir çekirdek, kendisini daha hafif ve kararlı bir çekirdeğe dönüştürmek için umutsuz bir girişimde bulunarak dışarı bir alfa parçacığı tükürebilir. Şu anda basit bir şekilde ortaya koyuyor olsak da, bu süreç bizim için ciddi bir bilmece durumunda. Çünkü bildiklerimizin

ışığında, bir alfa parçacığının bulunduğu çekirdeğin içinden çıkamaması gerekiyor.

Yüksek atlama dalında yarışan bir olimpiyat atletinin önüne beş metrelik bir engel konduğunu düşünün. Bu atlet dünyanın en iyilerinden biri de olsa, bu yükseklikteki bir çıtayı aşması imkân dahilinde değildir. Dünya üzerindeki hiçbir insanın bu denli yüksek bir engeli aşmasını sağlayacak derecede güçlü bacakları yoktur. Atom çekirdeği içindeki alfa parçacığı da benzer bir durumla karşı karşıya sayılabilir. Parçacığı çekirdeğin içinde tutan engel, çekirdekteki nükleer kuvvetler tarafından oluşturulmuştur ve beş metrelik çıta bir atlet için ne denli aşılamaz durumdaysa, çekirdek içindeki engel de alfa parçacığı için aynı şekilde aşılamaz olmalıdır.

Fakat alfa parçacıkları atom çekirdeğinin içinden kaçabilmektedir. Ve çekirdeğin içinden kaçabilmeleri parçacıkların dalgasal yüzüyle bağlantılıdır. Cam bir blok içine hapsolmuş ışık dalgaları gibi, parçacıklar da önlerindeki geçilemez sanılan engeli aşarak sessizce dış dünyaya karışırlar.

Bu sürece kuantum tünellemesi (*quantum tunnelling*) denmektedir – alfa parçacıklarının atom çekirdeğinin içinden çıkabilmek için kendilerine bir tünel açtıkları söylenir. Kuantum tünellemesi aslında belirsizlik denilen ve mikroskobik dünya hakkında ne bilebileceğimiz ve ne bilemeyeceğimiz üzerine esas sınırı ortaya koyan, çok daha genel bir olayın tezahürüdür. Ve çift yarık deneyi belirsizliğin harikulade bir örneğidir.

Heisenberg Belirsizlik İlkesi

Elektron gibi mikroskobik bir parçacığın perde üzerindeki her iki yarıktan birden aynı anda geçebilmesini mümkün kılan, bu parçacığın iki ayrı dalganın süperpozisyonu olarak var olabilmesidir. Yarıkların birinden geçen parçacığın

bağlı olduğu bir dalga ve yarıkların diğerinden geçen parçacığın bağlı olduğu bir diğer dalga söz konusudur. Ancak parçacığın söz konusu şizofren davranışının fark edilebilmesi için bu yeterli değildir; ihtiyaç duyulan, ikinci perde üzerinde bir girişim deseninin oluşmasıdır. Ancak bunun için de elbette ki, süperpozisyon içindeki farklı dalgaların girişimde bulunması gerekmektedir. Ve de, elektronun bahsettiğimiz tuhaf kuantum davranışını gösterebilmesi için asıl gerek duyulan unsurun girişim olması gerçeği, doğanın elektron hakkında ne kadar çok şey bilmemize müsaade edeceği üzerinde belirleyici durumdadır.

Çift yarık deneyinde her bir elektronun geçtiği yarığı saptamaya çalıştığımızı düşünelim. Bunda başarılı olursak, ikinci perde üzerindeki girişim deseni ortadan kaybolacaktır. Sonuçta, girişim iki şeyin birbirine karışmasını gerektirir. Elektron ve elektronla bağlantılı olasılık dalgası yalnızca tek bir yarıktan geçecek olursa, ortada yalnızca tek bir şey olacaktır.

Peki ama, pratikte bir elektronun hangi yarıktan geçtiğini nasıl saptayabiliriz? Öncelikle, çift yarık deneyini zihnimizde canlandırmak açısından bir parça kolaylaştırmak için, elektronu makineli tüfekten çıkan bir kurşun ve perdeyi de, üzerinde iki dikey paralel yarık bulunan kalın madeni bir levha olarak düşünelim. Kurşunlar perdeye ateşlendiğinde, bazıları yarıklardan geçerek yollarına devam eder. Yarıkları kalın madeni levha içindeki derin kanallar olarak düşünecek olursak, kurşunlar kanalların iç duvarlarından sekerek ilerleyecek ve ikinci perdeye ulaşacaktır. Kurşunlar perde üzerinde herhangi bir noktayı vurabilir. Ancak durumu basitleştirmek için, kurşunların perdeyi tam merkez noktasından vurduğunu ve bu merkez noktada kurşunlarla bağlantılı olasılık dalgalarının yapıcı bir şekilde girişimde bulunduğunu varsayalım. O

zaman, söz konusu merkezi nokta üzerine sayısız kurşun yağacaktır.

Kurşun, yarığın içinde sekerek ilerlediğinde, metal perdenin zıt yönde geri tepmesine neden olur. Tenis oynuyorsanız, hızlı bir servisle gelen topun raketinize çarpmasına benzer bir durumu gözünüzün önüne getirebilirsiniz. Topla çarpıştığı anda raketiniz zıt yönde tepecektir. Çift yarık deneyinde, perdenin geri tepmesi kurşunun hangi yarıktan geçtiğini anlamak için kullanılabilir. Eğer perde sola doğru hareket edecek olursa, kurşun sol taraftaki yarıktan; perde sağa doğru hareket edecek olursa, kurşun sağ taraftaki yarıktan geçmiş olmalıdır.

Öte yandan kurşunun hangi yarıktan geçtiğini saptayacak olursak, bunun ikinci perde üzerinde oluşacak girişim desenini yok edeceğini biliyoruz. Dalga açısından bakıldığında bu, anlaşılması kolay bir durum. Tek elimizle bir şeyi alkışlamaya kalktığımızda nasıl hiç ses çıkaramıyorsak, kendi kendisiyle girişimde bulunan bir şeyi de göremeyiz. Peki ama, dalgasal bakış açısıyla aynı ölçüde geçerli olan parçacık bakış açısından, bu durumu nasıl anlamlandırabiliriz?

İkinci perde üzerindeki girişim deseninin süpermarket barkoduna benzediğini hatırlayın. Bu perde, hiçbir kurşunun vurmadığı ve (bu şeritlerle dönüşümlü olarak değişen) birçok kurşunun vurduğu dikey şeritlerden oluşmaktadır. İşimizi kolaylaştırmak için, şeritleri siyah ve beyaz olarak düşünelim. Buradaki asıl soru şu olacaktır: Kurşunun bakış açısıyla, girişim desenini yok etmek için ne olması gerekiyor?

Cevap bir parça yalpalayacak olan kurşunlardadır. Eğer ki her bir kurşun, siyah bir şeride tam isabet edecek şekilde yol almak yerine, siyah bir şeritle birlikte hemen bitişikteki beyaz bir şeridi de vurabilecek şekilde rota-

sında bir parça yalpalayarak yol alacak olursa, bu durum girişim deseninin "dağılması" için yeterli olacaktır. Daha önce beyaz olan şeritler siyahlaşırken, siyah olan şeritler ise beyazlaşacaktır. Net sonuç ise tekdüze bir gri olur. Artık girişim deseni dağılmıştır.

Herhangi bir kurşunun siyah bir şeride mi yoksa hemen bitişiğindeki beyaz bir şeride mi çarpacağını önceden bilebilmek imkânsız olduğundan, her bir kurşunun yalpalayarak yol alış şeklinin bütünüyle öngörülemez olması gerekmektedir. Ve bütün bunların sebebi, perdenin geri tepmesine bakarak kurşunun hangi yarıktan geçtiğini ölçmemizdir.

Diğer bir ifadeyle, elektron gibi bir parçacığın yerini saptama girişimi, parçacığa öngörülemez bir yalpalama kazandırarak hızını ve yönünü belirsiz kılar. Ve bu durumun tam tersi de aynı şekilde geçerlidir (bir parçacığın hızını saptama girişimi, yerini belirsizleştirir). Bu etkiyi ilk kez tanımlayarak sayısallaştıran kişi Alman fizikçi Werner Heisenberg'dir ve ortaya çıkan durum da Heisenberg belirsizlik ilkesi olarak anılmaktadır.

Belirsizlik ilkesine göre, mikroskobik bir parçacığın hem yerini hem de hızını tam bir kesinlikle bilmenin imkânı yoktur. Öte yandan bu iki veri arasında tam bir zıtlık söz konusudur. Bir parçacığın yeri ne denli net bir şekilde belirlenirse, hızı da aynı ölçüde belirsizlik kazanır. Ve tam tersi şekilde, parçacığın hızı ne den*li* kesin olarak belirlenirse, yeri aynı ölçüde belirsizleşir.

Bu kısıtlamanın gündelik dünya hakkında bildiklerimiz üzerinde de geçerli olduğunu düşünelim. Bir jet uçağının hızına dair elimizde net bir bilgi olduğu takdirde, uçağın Londra mı yoksa New York üzerinde mi olduğunu bilemeyiz. Ve uçağın bulunduğu yere dair elimizde kesin bir bilgi olduğu takdirde ise bu defa da saatte 1000 kilometreyle mi gittiğini yoksa saatte 1 kilometreye dek

yavaşlayarak yere çakılmak üzere mi olduğunu söyleyemeyiz.

Belirsizlik ilkesi, kuantum teorisini *korumak* için vardır. Atomlar ve türevlerinin özelliklerini, belirsizlik ilkesinin müsaade edeceğinden daha ileri bir düzeyde ölçebiliyor olsaydınız, atomların dalga davranışlarını (daha kesin bir ifadeyle, girişimi) yok etmiş olurdunuz. Ve girişim olmaksızın, kuantum teorisi var olamaz. Bu bağlamda, bir parçacığın konumunu ve hızını, belirsizlik ilkesinin izin vereceğinden daha yüksek bir kesinlikte ölçmek imkânsızdır. Heisenberg belirsizlik ilkesi nedeniyle, çok yakından bakmaya kalkıştığımız takdirde mikroskobik dünya netliğini yitirecek ve aşırı şekilde büyütülmüş bir gazete resmi gibi bulanık olacaktır. İnsanı çileden çıkartacak şekilde, doğa ölçmek istediğimiz şeyleri istediğimiz kesinlikte ölçmemize müsaade etmez. Bilebileceklerimizin bir sınırı vardır.

Bu sınırlama, yalnızca çift yarık deneyine özgü bir tuhaflık değil, temel bir gerçektir. Richard Feynman'ın ortaya koyduğu gibi: "Bugüne dek hiç kimse belirsizlik ilkesinin etrafından dolaşmanın bir yolunu bulamadı. Hatta böyle bir yol olabileceğini düşünen bile olmadı. Bundan sonra da olacağını sanmıyorum."

Bunun nedeni, alfa parçacıklarının, hiçbir şekilde kaçılamaz sanılan atom çekirdeği hapishanesinden kaçmalarına imkân tanıyan dalgasal karakteridir. Öte yandan Heisenberg belirsizlik ilkesi bu olayı parçacığın bakış açısından anlamamızı mümkün kılar.

Daha Önce Hiçbir Atletin Ulaşamadığı Yer

Çekirdek içindeki alfa parçacığını, beş metrelik bir engelle karşılaşmış olimpiyat atletine benzetmiştik. Sağduyumuzla konuyu değerlendirdiğimizde, alfa parçacığının

çekirdek içinde, engeli aşmasına yetecek bir hızda yol almadığını söyleyebiliriz. Ancak sağduyu yalnızca gündelik hayata uyarlanabilir, mikroskobik dünyaya değil. Çekirdekteki hücresinin içinde hapsolmuş alfa parçacığının uzaydaki konumu tam bir kesinlikle saptanabilir. O halde, Heisenberg belirsizlik ilkesine göre, parçacığın hızının belirsiz olması gerekmektedir. Bir diğer ifadeyle, parçacığın hızı düşündüğümüzden çok daha yüksek olabilir. Ve bu hız, düşündüğümüzden daha yüksekse, parçacık çekirdekten sıçrayıp kaçabilir. Bu durum bir anlamda, olimpiyat atletinin beş metrelik çıtayı aşması demektir.

Alfa parçacıkları tutuldukları hapishanenin dışındaki dünyada birdenbire belirir – tıpkı garajından kaçan Ferrari gibi. Bu "tünelleme," Heisenberg belirsizlik ilkesine bağlıdır. Ancak tünelleme çift taraflı bir süreçtir. Alfa parçacıkları gibi atomaltı parçacıklar yalnızca çekirdekten kaçmak için kendilerine tünel açmazlar; aynı zamanda tekrar çekirdeğin içine de girebilirler. Aslına bakılacak olursa, ters yöndeki bu tünelleme büyük bir gizi açıklamamıza yardımcı olmaktadır: Güneşin neden parıldadığına.

Güneşin İçinde Tünelleme

Güneş, protonları birbirine kenetleyerek, yani hidrojen çekirdeklerini füzyonla helyuma dönüştürerek ısı üretir.[1] Bu füzyon sürecinin yan ürünü olan nükleer enerji güneşten ayrılarak dünyamıza ışık sağlar.

Ancak hidrojen füzyonunda bir problem söz konusu. Protonları birbirine kenetleyen çekim gücü, yani yüksek nükleer güç ancak çok kısa bir mesafede etkilidir. Bu nedenle, güneşteki iki protonun bu çekim gücünün etkisi altına girerek birleşmesi için, birbirlerine çok yakın geç-

1 *Bkz.* 8. Bölüm: "$E = mc^2$ ve Güneş Işığının Ağırlığı."

meleri gerekmektedir. Ancak yakınlaşan iki proton, aynı elektrik yüküne sahip olduklarından dolayı, birbirlerini insafsızca itecektir. Bu şiddetli itmenin üstesinden gelinebilmesi için, protonların muazzam bir hızla çarpışması gerekir. Pratikte bunun gerçekleşebilmesi için ise nükleer füzyonun sürmekte olduğu güneş çekirdeğinin aşırı yüksek sıcaklıkta olması gerekir.

Güneşin hidrojen füzyonuyla enerji ürettiğinin anlaşılmasıyla hemen hemen aynı zamanlarda, 1920 yılında, fizikçiler gerekli olan sıcaklığı hesapladı. Bu sıcaklığın takriben 10 milyar derece olduğu saptandı. Ancak bu durum ortaya bir problem çıkartıyordu. Güneşin kalbindeki sıcaklığın 15 milyon derece olduğu biliniyordu (kabaca bir hesapla bin kat daha düşük). Bu hesaba göre güneşin kesinlikle parıldamıyor olması gerekiyordu. Bu noktada, Alman fizikçi Fritz Houtermans ve İngiliz astronom Robert Atkinson sahneye giriyor.

Güneş çekirdeğindeki bir proton, diğer bir protona yaklaştığında ve sahip oldukları aynı elektrik yükü nedeniyle birbirlerini ittiklerinde, bu protonun, diğer protonu çevrelemiş olan yüksek bir duvarla karşılaştığını düşünebiliriz. Güneşin kalbindeki 15 milyon derecelik sıcaklıkta, proton önüne çıkan bu duvarı aşamayacak kadar düşük bir hızda ilerliyormuş gibi görünmektedir. Ancak Heisenberg belirsizlik ilkesi her şeyi değiştiriyor.

1929 yılında Houtermans ve Atkinson konuyla bağlantılı hesaplamaları tamamladığında, ilk protonun ikinci proton etrafındaki geçilemez sanılan engelin içinden kendisine bir tünel açabildiğini ve 15 milyon derece gibi aşırı düşük bir sıcaklıkta bile başarılı bir şekilde diğer protonla füzyona girdiğini keşfettiler. Dahası bu keşif, güneşin yaydığı ısıya dair ölçümlerimizle de tamı tamına örtüşüyordu.

Houtermans ve Atkinson'un hesaplamayı yaptığı günün ertesi gecesi, Houtermans'ın, daha önce dünya üzerinde kimsenin kullanmadığı bir sözle kız arkadaşını etkilemeye çalıştığı anlatılır. Houtermans ve sevgilisi, kusursuz berraklıktaki bir gökyüzünün altında otururken, genç fizikçi yıldızların neden parıldadığını bilen dünyadaki tek kişi olduğunu söyleyerek kıza hava atar. Bu işe yaramış olmalı. İki sene sonra Charlotte Riefenstahl, Houtermans'la evlenmeyi kabul eder (aslına bakacak olursanız Charlotte, Houtermans'la iki kere evlenmiştir, ancak bu başka bir hikâye).

Güneş ışığı bir kenara, Heisenberg belirsizlik ilkesi bize çok daha yakın bir şeyi açıklamaktadır: vücutlarımızdaki atomların varlığını.

Belirsizlik ve Atomların Varoluşu

Yeni Zelandalı fizikçi Ernest Rutherford'un 1911 yılında gerçekleştirdiği Cambridge deneyleri, atomun minyatür bir güneş sistemini andırdığını ortaya koymuştur. Yoğun atom çekirdeği etrafında uçuşan elektronlar, güneşin etrafındaki gezegenlere benzemektedir. Öte yandan Maxwell'in elektromanyetik teorisine göre, çekirdeğin yörüngesinde dönen bir elektronun ışık enerjisi saçması ve saniyenin yalnıza yüz milyonda biri gibi bir anda çekirdek içine doğru sarmal çizerek düşmesi gerekmektedir. Richard Feynman'ın belirttiği gibi, "klasik bakış açısına göre atomlar kesinlikle imkânsızdır." Ancak atomlar vardır. Ve bunun açıklaması ise kuantum teorisinden gelmektedir.

Bir elektron, çekirdeğe çok fazla yaklaşamaz, çünkü bu durumda uzaydaki yeri çok net bir şekilde biliniyor olurdu. Ancak Heisenberg belirsizlik ilkesine göre, bunun anlamı elektronun hızının çok belirsiz olacağıdır. Bu hız muazzam bir yükseklikte olabilir.

Küçülmekte olan bir kutu içine hapsolmuş bir arı düşünün. Kutu küçüldükçe, arı daha da öfkelenecek ve kendisini daha da sert bir şekilde sıkışıp kaldığı hücresinin duvarlarına vuracaktır. Atom içindeki elektron da az çok böyle bir davranış içindedir. Elektron bütünüyle çekirdeğin içine sıkışıp kalırsa, çekirdek içinde hapis kalmasına izin vermeyecek kadar yüksek bir hız kazanabilir.

Elektronların neden çekirdeğin içine düşmediğini açıklayan Heisenberg belirsizlik ilkesi, dolayısıyla ayaklarımızın altındaki zeminin katı olmasının en önemli nedenidir. Ancak belirsizlik ilkesi, atomların varlığını ve maddenin katılığını açıklamaktan çok daha fazlasını ortaya koymaktadır. Belirsizlik ilkesi, atomların neden böylesine büyük olduğunu da (ya da en azından çekirdeklerinden çok daha büyük olduğunu) açıklamaktadır.

Atomlar Neden Böylesine Büyük

Tipik bir atomun, merkezindeki çekirdekten 100.000 kat daha büyük olduğunu hatırlayın. Atomların içinde neden böylesine fantastik boyutta bir boşluk olduğunu anlamak, Heisenberg belirsizlik ilkesi hakkında birazcık daha net olmamızı gerektiriyor. Kesin bir şekilde ortaya koyacak olursak, Heisenberg belirsizlik ilkesi bir parçacığın aynı anda hem konum hem de (yalnızca hızından ziyade) momentumunun yüzde 100 kesinlikle bilinemeyeceğini söylemektedir.

Bir parçacığın momentumu, kütle ve hızının çarpımıdır. Aslına bakácak olursanız, momentum yalnızca, hareket halinde olan bir şeyi durdurmanın ne denli güç olduğunun bir ölçütü olarak düşünülebilir. Örneğin trenin, otomobile nazaran (otomobil çok daha hızlı yol alıyor olsa bile) çok daha fazla momentumu vardır. Atom çekirdeği içindeki bir proton da, bir elektrona göre 2000 kat daha

fazla kütleye sahiptir. O halde, Heisenberg belirsizlik ilkesine göre, bir proton ve elektron aynı hacme sahip bir boşluğa kapatılacak olursa, elektron 2000 kat daha hızlı hareket edecektir.

Şimdiden, atom içindeki elektronların, proton ve nötronlardan çok daha büyük bir hacimde dolaşıyor olması gerektiğini sezebiliyoruz. Fakat atomlar çekirdeklerinden 2000 kat değil, 100.000 kat daha büyüktür. Neden?

Cevap, atom içindeki elektron ve çekirdek içindeki protonun aynı kuvvetin hükmü altında olmamasıdır. Çekirdek içi parçacıklar nükleer kuvvet tarafından tutulurken, elektronlar daha zayıf olan elektrik kuvveti tarafından tutulmaktadır. Çekirdek etrafında dolanan elektronların incecik lastiklerle bağlı olduklarını, proton ve nötronların ise elli kat daha kalın bir bant tarafından kısıtlandığını düşünün. İşte size atomun neden çekirdekten 100.000 kat daha büyük olduğunun açıklaması.

Fakat atom içindeki elektronlar çekirdek etrafında tek bir yörünge izlemez; farklı mesafelerde birçok yörünge izlemelerine müsaade edilir. Bunu açıklamak için başka bir dalga olayına müracaat edeceğiz. Bu defa kilise orglarına bakacağız!

Atomlar ve Kilise Orglarına Dair

Kuantum dünyasında geçerli olan şeylere her zaman birçok farklı yoldan bakılabilir; bu yollardan her biri, insanın asabını bozacak kadar ikircikli bir gerçeği ortaya koymaktadır. Bunlardan biri de, bir atomun elektronlarıyla bağlantılı olasılık dalgalarını, bir kilise orguna hapsolmuş ses dalgaları olarak düşünmektir. Kilise orgundan, istenilen her notanın çıkarılmasının imkânı yoktur. Ses titreşimi ancak her biri kesin bir perde ya da frekansa sahip sınırlı sayıda yoldan sağlanabilir.

Ancak bu durum, yalnızca ses dalgalarının değil, tüm dalgaların genel bir özelliği olarak ortaya çıkıyor. Dalgalar, hapsoldukları bir uzayda ancak belli, kesin frekanslar olarak var olabilir.

Bir atom içindeki elektronu düşünün. Bu elektron bir dalga gibi davranmaktadır. Ve bu elektron aynı zamanda atom çekirdeğinin elektrik kuvvetiyle sıkı bir şekilde kontrol altına alınmıştır. Bu durum fiziksel bir hazne içinde tutulmakla tam anlamıyla aynı şey olmayabilir. Öte yandan kilise orgu nasıl bir ses dalgasını hapis tutuyorsa, elektron dalgası da aynı şekilde hapistir. Dolayısıyla elektron dalgası yalnızca kesin frekanslarda var olabilir.

Kilise orgundaki ses dalgalarının frekansları kilise orgunun karakteristik özelliklerine (örneğin daha küçük borulara sahip bir kilise orgu, daha büyük borulara sahip bir kilise orguna nazaran, daha yüksek perdeden notalar üretebilir); atom içindeki elektron dalgalarının frekansları ise atom çekirdeğinin elektrik kuvvetine dayanmaktadır. Genelde ise en düşük –temel– düzeyde bir frekans ve yüksek frekansta "*overtone*" seriler vardır.

Yüksek frekanslı bir dalganın belli bir uzay dahilinde daha çok tepe ve dip noktası bulunur. Daha değişken ve daha serttir. Atom açısından baktığımızda, bu türden bir dalga daha hızlı hareket eden, daha enerjik bir elektrona tekabül eder. Ve de, daha hızlı hareket eden, daha enerjik bir elektron, çekirdeğin elektrik çekimine karşı koyarak, daha uzak mesafeli bir yörünge izleyebilir.

Ortaya çıkan resim, çekirdekten yalnızca belli mesafelerde yörünge izlemesine müsaade edilen bir elektronu ortaya koymaktadır. Bu durum ise prensipte, dünya gibi bir gezegenin güneşten herhangi uzaklıktaki bir yörünge izleyebildiği güneş sistemimize benzememektedir.

Bu özellik, mikroskobik dünya ile gündelik dünya arasındaki bir diğer önemli farklılığı öne çıkarıyor. Gündelik dünyada her şey sürekliyken (bir gezegen güneşi istediği mesafedeki bir yörüngeden izleyebilir ya da insanlar diledikleri kiloda olabilir), mikroskobik dünyada süreklilik diye bir şey yoktur (bir elektron çekirdek etrafında ancak belli mesafelerde bir yörünge izleyebilir ya da ışık ve madde yalnızca belli bölünemez parçalardan oluşabilir). Fizikçiler bu bölünemeyen parçacıkları "kuanta" olarak adlandırmaktadır. Zaten mikroskobik dünyanın fiziğine de kuantum teorisi denmesinin nedeni budur.

Atom dahilinde bir elektronun en içteki yörüngesi Heisenberg belirsizlik ilkesi tarafından saptanır; yani elektronun küçük bir alana hapsedilmeye karşı gösterdiği arı misali dirençle. Ancak Heisenberg belirsizlik ilkesi yalnızca atomlar gibi küçük şeylerin sınırsız olarak büzülmesini engelleyerek maddenin katılığını açıklamakla kalmaz; aynı zamanda çok daha büyük şeylerin büzülmesini de engeller. Çok daha büyük bu şeyler, yıldızlardır.

Belirsizlik ve Yıldızlar

Yıldız, kendi kütleçekimsel kuvvetiyle bir arada duran büyük bir gaz topudur. Bu çekim gücü sürekli olarak yıldızı büzmeye çalışır ve kendisine engel olacak bir başka kuvvetle karşılaşmadığı takdirde, yıldızın çok kısa bir sürede kendi içine çökmesini, yani bir kara deliğe dönüşmesini sağlayabilir. Güneş için konuşacak olursak, bunun gerçekleşmesi için yarım saatten kısa bir süre yeterli olacaktır. Öte taraftan güneşin, küçücük bir noktaya dönüşecek şekilde büzülmediği bilindiğinden dolayı, kütleçekimine karşı gelen bir başka kuvvet olmalıdır. Vardır da. Bu kuvvet, çekirdekteki sıcak maddeden gelir. Diğer tüm normal yıldızlar gibi, güneş de çok hassas bir denge

durumundadır. Kütleçekiminin içeri doğru yüklenen kuvveti, sıcak maddenin dışa doğru yüklenen kuvvetiyle tam bir denklik içindedir.

Fakat bu denge geçicidir. Dışa doğru yüklenecek kuvvet ancak yanarak yıldızın sıcaklığını korumasını sağlayacak yakıt olduğu sürece sağlanabilir. Ve önünde sonunda bu yakıt bitecektir. Güneş için bu durum beş milyar yıl sonra gerçekleşecek. Bu olduğunda, kütleçekimi güneşin tek hâkimi olacak ve artık kendisine karşı koyacak bir kuvvet kalmadığından ötürü, yıldızın sürekli olarak büzülmesini sağlayacak.

Ancak bu noktada her şey kaybedilmiş değil. Yıldızın içindeki sıcak ve yoğun ortamda, yüksek hızlı atomlar arasında gerçekleşen sürekli ve şiddetli çarpışmalar, bu atomların elektronlarından soyunmasına neden olur ve elektronlardan oluşan gaz ile atom çekirdeklerinden oluşan gazın birleşmesinden bir plazma oluşur. Hızla büzülmekte olan yıldızın umulmadık bir şekilde imdadına koşan, işte bu küçük elektronlardır. Yıldızı oluşturan maddenin elektronları yakınlaşarak birbirlerine karıştıkça, Heisenberg belirsizlik ilkesine göre daha da hız kazanır ve kendilerini sınırlamak isteyen her şeye çarparak dışa doğru muazzam bir kuvvet oluştururlar. Son kertede bu kuvvet yıldızın büzülmesini yavaşlatmak ve durdurmak için yeterlidir.

Kütleçekiminin içe doğru uyguladığı kuvvet, yıldızı oluşturan sıcak maddenin değil, ancak elektronlarının çıplak gücüyle dengelendiğinde yıldızda yeni bir denge kurulmuş olur. Fizikçiler buna bozunum basıncı (*degeneracy pressure*) demektedir. Aslında bu, elektronların birbirlerine çok yakınlaşıp sıkışmaya karşı gösterdikleri direnç için kullanılan süslü bir terimdir. Elektron basıncıyla kütleçekimine karşı koyan yıldızlar "beyaz cüce" olarak adlandırılır. Dünyanın boyutundan biraz daha büyük

olan ve yıldızın asıl hacminin milyonda birine sahip olan beyaz cüce, çok yoğun bir nesnedir. Beyaz cücenin küpşeker büyüklüğündeki bir parçası, bir otomobilin ağırlığına eşdeğer olabilir.

Bir gün güneş de bir beyaz cüceye dönüşecek. Bu türden yıldızların, kaybettikleri ısıyı yenileme şansı bulunmuyor. Beyaz cüceler, esasen, önlenemez bir hızla soğuyan ve yavaş yavaş görüntüden kaybolan birer közden başka bir şey değildir. Ancak beyaz cüceleri kendi kütleçekim kuvvetleriyle içe çökmekten koruyan elektron basıncının da bir sınırı vardır. Bir yıldızın kütlesi ne kadar büyükse, kütleçekimi de aynı ölçüde kuvvetlidir. Yıldız yeteri kadar kütleye sahipse, kütleçekimi elektronların katı direncini aşacak bir noktaya gelecektir.

Aslına bakılacak olursa, yıldız hem dıştan hem de içten sabote edilmiştir. Bir yıldızın kütleçekimi kuvvetlendikçe, içeri doğru sıkıştırılan gaz miktarı da artar. Ve gaz sıkıştıkça da, bisiklet pompası kullanan herkesin bildiği gibi, sıcaklık artar. Isı, maddenin mikroskobik titreşimlerinden başka bir şey olmadığından ötürü, yıldız içindeki elektronlar da daha hızlı bir şekilde uçuşmaya başlar – bu hız öylesine bir düzeye ulaşır ki, göreliliğin etkileri önemli hale gelir.[2] Elektronlar hızlanacakları yere, daha kütleli hale gelirler ve bu yüzden de hücrelerinin duvarlarına eskisi kadar etkili bir şekilde çarpamazlar.

Yıldız iki yönden darbe almıştır. Bir yandan kütleçekimi daha fazla kuvvet kazanmış; diğer bir yandan ise buna karşı koyma gücü elinden alınmıştır. Bu etkiler yüzünden, bir beyaz cüce en fazla güneşten yüzde 40 daha ağır olabilir. Eğer ki bir yıldız bu "Chandrasekhar sınırı"ndan daha ağırsa, elektron basıncının gücü yıldızın paldır küldür çöküşünü engellemeye yetmez ve yıldız büzülmeye devam eder.

---

[2] *Bkz.* 7. Bölüm: "Uzay ve Zamanın Ölümü."

Ancak bir kez daha, her şeyin sonuna gelmiş değiliz. En sonunda yıldız o kadar çok büzülür ki, elektronları, küçük bir alana kapatılmaya karşı gösterdikleri inanılmaz dirence rağmen, atom çekirdeğine dek sıkışırlar. Burada elektronlar protonlarla tepkimeye girerek nötrona dönüşür ve tüm yıldız büyük bir nötron kütlesi haline gelir.

Heisenberg belirsizlik ilkesine göre, yalnızca elektronlar değil, maddenin tüm parçacıklarının bir yere kapatılmaya karşı direnç gösterdiğini hatırlayın. Nötronlar elektronlardan binlerce kat daha kütlelidir. Bu nedenden ötürü, yeterli bir direnç gösterebilmeleri için, binlerce kat daha küçük bir hacme sıkıştırılmaları gerekir. Aslında en sonunda yıldızın büzülmesinin önüne geçmeden önce, birbirlerine neredeyse dokunacak kadar sıkıştırılmaları gerekmektedir.

Kütleçekimine karşı nötron bozunum basıncı tarafından desteklenen yıldızlar, nötron yıldızları olarak bilinmektedir. Ortaya çıkan şey, içinden tüm boşluğu çıkartılmış devasa bir atom çekirdeğidir. Atomlar çoğunlukla boşluktan oluştuğundan ve çekirdeği, yörüngesindeki elektronlardan 100.000 kat daha küçük olduğundan, nötron yıldızları da normal yıldızlardan 100.000 kat daha küçüktür. Bir uçtan diğer uca yaklaşık 15 kilometre genişliğindedirler. Everest Dağı'ndan çok da büyük değil yani. Fakat nötron yıldızı öylesine yoğundur ki, küpşeker büyüklüğündeki parçasının ağırlığı, tüm insan ırkının ağırlığı kadardır. (Bu elbette ki, hepimizin içinde ne kadar çok boşluk olduğunun bir işaretidir; bu boşluğun tümünü çekip aldığınız takdirde, insanlığın tamamı avcunuzun içine sığacaktır.)

Bu türden yıldızların şiddetli süpernova patlamalarıyla oluştuğu düşünülüyor. Yıldızın dış katmanları uzaya dağılırken, iç çekirdeği büzülerek bir nötron yıldızına

dönüşür. Küçük ve soğuk nötron yıldızlarını görmenin zor olması gerektiğini düşünebiliriz. Fakat bu yıldızlar çok hızlı dönerek oluşur ve gökyüzünde parıldayan elektromanyetik dalgalar üretir. Nabız gibi atan bu türden nötron yıldızları –ya da pulsarlar– varlıklarını astronomlara bu şekilde iletmektedir.

Belirsizlik ve Vakum

Beyaz cüceler ve nötron yıldızları bir kenara, Heisenberg belirsizlik ilkesinin ortaya koyduğu belki de en dikkate değer sonuç, boşluğun modern resmidir. Sonuç, boşluğun boş olmamasıdır!

Heisenberg belirsizlik ilkesi, bir parçacığın aynı anda hem enerjisini hem de var olduğu zaman aralığını ölçmenin imkânsız olduğunu söylemek için yeniden düzenlenebilir. Dolayısıyla çok kısa bir zaman aralığında bir boşluk parçasında neler olduğunu değerlendirmeye kalkacak olursak, bu parçanın enerji içeriğine yönelik çok ciddi bir belirsizlik oluşacaktır. Diğer bir ifadeyle, enerji kendiliğinden ortaya çıkabilir!

Kütle bir enerji biçimidir.[3] Bunun anlamı, kütlenin de kendiliğinden ortaya çıkabileceğidir. Ancak ortaya çıktıktan kısa bir süre sonra hemen yok olmak durumundadır. Genellikle herhangi bir şeyin yoktan var olmasını engelleyen doğa kanunları, çok hızlı gerçekleşen olayları görmezden geliyor gibi. Bu açıdan doğa kanunlarının durumu, sabah olmadan yeniden garaja bırakması şartıyla, oğlunun arabayı kaçırmasını görmezden gelen bir babaya benzetilebilir.

Pratikte kütle, mikroskobik parçacıklar halinde, boşlukta kendiliğinden oluşmaktadır. Kuantum vakumu as-

[3] *Bkz.* 8. Bölüm: "$E = mc^2$ ve Güneş Işığının Ağırlığı."

lında birdenbire varoluşa sıçrayan ve hemen ardından yeniden yok olan elektronlar gibi mikroskobik parçacıkların kaynaştığı bir bataklıktır.[4] Ve bu yalnızca bir teori de değildir; gözlemlenebilen sonuçları bulunmaktadır. Kuantum vakumunun çamurlu denizi atomların dışlarındaki elektronları hırpalayarak, dışa verdikleri ışık enerjisini çok hafif bir şekilde değiştirir.[5]

Doğa kanunlarının herhangi bir şeyin yoktan var olmasına izin veriyor olması gerçeği, evrenin kökenleri üzerine çalışan kozmologların gözünden kaçmamıştır. Günümüzde bilim adamları tüm evrenin, aslında vakumun kuantum dalgalanmasından başka bir şey olup olmadığını düşünüyor. Bu olağandışı bir düşünce.

---

[4] Her parçacık, kendisiyle zıt özelliklere sahip karşı-parçacığıyla birlikte yaratılır. Bu nedenle negatif yüklü bir elektron her zaman pozitif yüklü bir pozitronla birlikte yaratılmaktadır.

[5] Bu etki *lamp shift* olarak adlandırılır.

5

TELEPATİK EVREN

Evrenin İki Ayrı Ucunda Oldukları Zamanlarda Bile Atomlar Birbirlerini Nasıl Anında Etkiliyor

Işınla beni, Scotty.
Kaptan James T. Kirk

Madeni bir para dönüyor. Para, dipsiz bir okyanus çukurunda, çamura saplanmış sağlam bir kutunun içinde. Madeni parayı döndüren ya da halen dönmesini sağlayan şeyin ne olduğunu sormayın. Bu düşünüp taşınarak yazılmış bir hikâye değil!

Önemli olan, evrenin ücra bir köşesinde, bir galaksinin soğuk aylarından birinde, özdeş bir kutunun içinde dönen özdeş bir madeni paranın daha olması.

İlk para tura geliyor. Aynı anda, saniyenin milyarda biri kadar bile gecikme olmaksızın,

Dünyadan 10 milyar ışık yılı uzaklıktaki diğer para ise yazı.

Dünyadaki para yazı, uzaklardaki kuzeni ise pekâlâ tura gelebilirdi. Bunun önemi yok. Dikkate değer olan, evrenin ücra bir noktasındaki madeni paranın, dünyadaki özdeşinin durumunu anında *biliyor* ve bunun zıttını yapıyor olması.

Fakat bunu nasıl bilebiliyor? Evrenin kozmik hız sınırı, ışık hızıdır.[1] Paraların birbirinden 10 milyar ışık yılı uzaklıkta olduğunu düşünecek olursak, birinin bilgisinin diğerine ulaşması için en az 10 milyar yıllık bir sürenin gerekli olduğunu çıkarabiliriz. Buna rağmen, anında birbirlerinin durumunu öğrenebiliyorlar.

Bu türden bir "ürkütücü uzaktan etki," mikroskobik dünyanın en çarpıcı özelliklerinden birini öne çıkarıyor. Aslına bakacak olursanız, bu çarpıcı özellik Einstein'ı öylesine bozmuştu ki, kuantum teorisinin hatalı olması gerektiğini açıkladı. Ancak hatalı olan Einstein'dı.

Son yirmi yıl içerisinde fizikçiler tarafından, aralarında uzun mesafeler bulunan madeni paraların davranışları gözlemlendi. Paralar kuantum paralarıydı; aralarındaki mesafeler ise elbette ki evrenin genişliği kadar büyük değildi.[2] Bununla birlikte, yapılan deneyler, atomlar ve

---

1 *Bkz.* 7. Bölüm: "Uzay ve Zamanın Ölümü."

2 Einstein tarafından "ürkütücü uzaktan etki" olarak nitelendirilen iletimin gerçekleşmesi için, kuantum paralarının aynı anda yaratılması ve ardından birbirlerinden ayrılmaları gerekmektedir ki bu da, evrenin iki ayrı ucundaki paraların hikâyesini çok fazla ciddiye almamak gerektiğine yönelik bir işarettir. Daha önce de belirttiğim gibi, bu öyle düşünülüp tanışılmış bir hikâye değil. Aslında hikâyenin tek amacı, insanı hayrete düşüren bir gerçeği iletmek. Bu gerçek, evrenin iki ayrı ucunda olsalar bile kuantum teorisinin, nesnelerin birbirlerini aynı anda etkilemelerine izin vermesidir.

türevlerinin gerçekten de ışık hızı engelini aşarak, aynı anda iletişime geçtiklerini ortaya koydu.

Fizikçiler, bu olağandışı kuantum telepatisine "yerel olmama" adını verdi. Yerel olmamayı anlamanın en iyi yolu da, parçacıklara has bir özellik olan "spin" kavramını incelemektir.

Ürkütücü Uzaktan Etki

Spin, yalnızca mikroskobik dünyada görülen bir durum. Spin durumundaki parçacıklar, küçük topaçlar gibi sanki kendi etraflarında dönüyorlarmış gibi davranırlar. Tek fark, aslında bunu yapmıyor oluşları. Yani kendi etraflarında dönmüyorlar! Bir kez daha, mikroskobik dünyanın idrak edilemez temeline iniyoruz. Parçacıkların spini, içsel öngörülemezlikleri gibi, gündelik dünyamızda doğrudan örneğini veremeyeceğimiz bir durum. Mikroskobik parçacıklar farklı miktarlarda spine sahip olabilir. Var olan en düşük spine sahip parçacık elektrondur; bu da onun iki farklı yönde dönebilmesini sağlar. Bu dönüş ya saat yönünde ya da saat yönünün tersinde olabilir (aslında hiç dönmüyor olsa da!).

Eğer ki biri saat yönünde, diğeri ise saat yönünün tersine bir spinle, iki elektron birlikte yaratılırsa, elektronların spini birbirini götürür. Fizikçiler bu durumda toplam spinin sıfır olduğunu söyleyecektir. Elbette tam tersi de geçerlidir. İlk elektron saat yönünün tersine, ikincisi ise saat yönünde bir spine sahip olsaydı da, toplam spin yine sıfır olurdu.

Bu türden bir sistemin toplam spininin asla değişemeyeceğini söyleyen bir doğa kanunu bulunuyor: açısal momentumun korunumu. Dolayısıyla toplam spini sıfır olan bir çift elektron yaratıldığında, bu elektron çifti var olduğu sürece toplam spinleri de sıfır kalmak zorundadır.

Burada olağandışı bir şey yok. Öte yandan toplam spini sıfır olan iki elektron yaratmanın bir başka yolu daha var. Bir mikroskobik sistemin iki ayrı durumu geçerli olduğunda, bir süperpozisyonun da geçerli olacağını biliyoruz. Bunun anlamı, aynı anda "saat yönünde/saat yönünün tersinde" ve "saat yönünün tersinde/saat yönünde" dönecek bir çift elektron yaratmanın mümkün olmasıdır.

O halde? Bu türden bir süperpozisyonun yalnızca, elektron çifti kendi çevrelerinden yalıtılmış olduğu müddetçe var olabileceğini hatırlayın. Dış dünyayla gerçekleşecek bir etkileşim (bu etkileşim elektronların ne yaptığını görmek için bakan herhangi bir kişi olabilir), süperpozisyonu evre uyumsuzluğu durumuna sokarak yok eder. Şizofren durumlarını daha fazla sürdüremeyen elektronlarınsa, aynı anda hem "saat yönünde/saat yönünün tersinde" hem de "saat yönünün tersinde/saat yönündeki" varlıkları kesilmiş olur.

Halen olağandışı bir şey yok; en azından mikroskobik dünya için yok. Öyleyse, elektronların şizofren durumlarında yaratılmalarının ardından yalıtılmış bir şekilde kaldıklarını ve kimsenin onlara bakmaya kalkışmadığını varsayalım. Bunun yerine, elektronlardan biri, bir kutunun içinde çok uzak bir yere götürülsün. Ve ancak o zaman kutu açılsın ve elektronun spini gözlemlensin.

Uzak bir yere taşınan elektronun saat yönünde bir spini olduğu gözlemlenirse, aynı anda diğer elektron şizofren durumundan çıkmak ve saat yönünün tersinde bir spine geçmek durumundadır. Toplam spin ise her zaman sıfır kalacaktır. Diğer taraftan uzaklardaki elektronun saat yönünün tersinde döndüğü gözlemlenirse, ikinci elektronun aynı anda saat yönünde bir spine geçmesi gerekir.

Elektronlardan birinin okyanusun dibine gömülmüş çelik bir kutunun içinde ve diğerinin ise evrenin ücra bir

köşesinde bulunmasının hiçbir önemi yok. Elektronlardan biri anında diğerinin durumuna tepki verecektir. Bu ezoterik bir teori de değildir. Anında etki, laboratuvar ortamında gözlemlenmiştir.

1982 yılında, Alain Aspect ve Güney Paris Üniversitesi'ndeki meslektaşları foton çiftleri yarattı ve her bir çiftin fotonları, aralarında 13 metre mesafe olan karşılıklı dedektörlere yollandı. Dedektörler, fotonların polarizasyonunu ölçtüğünde (polarizasyon, fotonların spinine bağlı bir özelliktir), Aspect'in araştırma ekibi, dedektörlerden birindeki polarizasyon ölçümünün, diğer dedektörde ölçülen polarizasyonu etkilediğini ortaya çıkardı. Dedektörler arasındaki etkileşim 10 nanosaniyeden daha kısa bir süre içerisinde gerçekleşiyordu. Ölçülen süre, bir ışık huzmesinin 13 metrelik bu mesafeyi katedeceği zamanın yalnızca dörtte biriydi.

Ortaya çıkan sonuç, dedektörler arasındaki etkileşimi sağlayan unsurun ışık hızından en az dört kat daha hızlı olduğunu gösteriyordu. Teknolojimiz daha da kısa bir zaman aralığını ölçebilecek düzeyde olsaydı, belki de Aspect bu ürkütücü etkileşimin daha da hızlı gerçekleştiğini ortaya koyabilirdi. Kuantum teorisi doğruydu. Ve Einstein, toprağı bol olsun, yanılmıştı.

Yerel olmama, kuantumdışı gündelik dünyada asla vuku bulamaz. Bir hava kütlesi, biri saat yönünde, diğeri saat yönünün tersine dönmekte olan iki hortuma ayrılabilir. Ancak her iki hortum da şiddetini kaybedene dek zıt doğrultularda dönerek sürerler. Mikroskobik kuantum dünyasındaki asıl fark ise gözlemlenecekleri ana dek, parçacıkların spininin belirsiz olmasıdır. Ve de, elektron çiftlerinden birinin spini gözlemlenene dek, tamamen bir öngörülemezlik söz konusudur. Saat yönünde veya saat yönünün tersinde olması ihtimali yüzde 50'dir

(bir kez daha mikrodünyanın çıplak tesadüfiliğiyle karşı karşıyayız). Fakat gözlemlediğimiz ana dek bir elektronun spinini bilmemizin hiçbir yolu olmasa da, diğer elektronun spininin zıt doğrultuda olması gerekmektedir, diğer parçacığın ne kadar uzakta olduğunun bir önemi yoktur.

Dolanıklık

Yerel olmamanın tam merkezinde, etkileşime giren parçacıkların birbirlerini sarmak ya da "dolanmak" yönündeki eğilimi yer almaktadır. Böylece birinin özellikleri sonsuza dek diğerinin özelliklerine bağlı olur. Duruma elektron çiftleri açısından yaklaştığımızda, birbirlerine bağlı olan, elektronların spinleridir. En somut anlamıyla, birbirlerine dolanık parçacıklar artık ayrı varoluşlar olmaktan çıkarlar. Tıpkı âşık bir çift gibi, göbek bağıyla birbirlerine bağlı garip bir mevcudiyete geçerler. Ne denli birbirlerinden uzağa itilirlerse itilsinler, sonsuza dek birbirlerine bağlıdırlar.

Dolanıklığın en tuhaf tezahürü, hiç kuşku yok ki, yerel olmamaktır. Aslına bakılacak olursa, yerel olmamayı pratik bir kullanıma dönüştürebiliyor olsaydık, anında iletişim sistemleri oluşturabilir; bu sistemlerle, dünyanın diğer ucunu hiçbir gecikme olmaksızın telefonla arayabilirdik. Hatta salise kaybı yaşamadan evrenin diğer ucunu bile arayabilirdik! İnsanın keyfini kaçıran ışık hızı engelini de artık dert etmek zorunda kalmazdık.

Fakat yerel olmama, anlık iletişim sistemleri kurmak için değerlendirilemez. Uzun mesafeli bir mesaj yollamak için parçacıkların spininden yararlanmaya kalkıştığınızda, spinin doğrultularından birini "0"ı, diğerini ise "1"i kodlamak için kullanabiliriz. Ancak "0" mı yoksa "1" mi gönderdiğinizi bilmek için, parçacığın spinini kontrol etmeniz gerekir. Ve bu kontrol de, anlık etki için kesinkes

şart olan süperpozisyonu yok eder. Spini kontrol etmeden mesaj gönderdiğinizde ise, "1" mi yoksa "0" mı gönderdiğinizden emin olmanız yüzde 50'lik bir olasılığa tekabül eder. Bu belirsizlik düzeyi de hiçbir anlamlı mesajın iletilmesine izin vermez.

Dolayısıyla anında etki evrenimizin temel niteliklerinden biri olsa da, doğanın, gerçek bir mesaj gönderebilmemiz açısından bu unsurun değerlendirilemez olması için ne gerekiyorsa yapmakta olduğu ortaya çıkmaktadır. Işık hızı engelinin, gerçekte kırılmadan, kırılmasına izin vermesi de böyle bir durumdur. Doğa bir eliyle verdiğini, diğer eliyle gaddarca geri almaktadır.

Işınlanma (Teleportasyon)

Belki de dolanıklığın potansiyel kullanım alanları içinde en çekici olanı, bir nesnenin tam tanımının uzak bir yere gönderilmesi ve bu uzak yerdeki yetkin bir makinenin aldığı bilgiyle nesnenin kusursuz bir kopyasını çıkarabilmesidir. Bu, sizin de tahmin ettiğiniz üzere, Enterprise mürettebatını rutin olarak bir yerlere "ışınlayan" *Uzay Yolu* ışınlayıcısının yöntemidir.

Katı bir nesneyi yalnızca bu nesneyi tanımlayan bilgiyle yeniden oluşturmak, sahip olduğumuz teknolojinin çok ötesinde bir durum. Fakat uzak bir noktada herhangi bir nesnenin kusursuz kopyasını yaratma fikri çok daha basit bir şeye dayanıyor. Heisenberg belirsizlik ilkesine göre, bir nesneyi kusursuz bir şekilde tanımlamak imkânsızdır – tüm atomlarının pozisyonları, bu atomların her birinin içindeki elektronların pozisyonları gibi verilerden bahsediyoruz. Peki öyleyse, bu türden bilgilerin tamamı olmaksızın kusursuz bir kopya nasıl oluşturulabilir?

Dolanıklık bir yol gösteriyor. Asıl nokta, dolanık parçacıkların bölünemez tek bir mevcudiyet gibi davranma-

sıdır. Bir düzeyde, bu parçacıklar birbirlerinin en derinlerdeki sırlarını *bilmektedir*.

Diyelim ki elimizde P diye adlandırdığımız bir parçacık var ve bu parçacığın kusursuz bir kopyasını çıkarmak istiyoruz. Müstakbel kopyaya da P* diyelim. Oluşacak makul düşünce, P'nin özelliklerinin tamamını bilmemiz gerektiğidir. Öte yandan Heisenberg belirsizlik ilkesine göre, P'nin herhangi bir özelliğini (mesela yerini) kesin olarak ölçecek olursak, kaçınılmaz bir şekilde diğer bir özelliğine (bu örneğe göre, hızına) dair tüm bilgiyi kaybederiz. Ama düşüncelerimizi felce uğratan bu sınırlılık, dolanıklığın becerikli bir şekilde kullanımıyla bertaraf edilebilir.

Hem P hem de P*'la benzer olan, bir başka parçacığı alalım – bu parçacık da A olsun. Burada önemli nokta A ile P*'ın dolanık bir çift olduğudur. Şimdi A ile P'yi birbirlerine dolayalım ve çifti bir arada ölçelim. Bu sayede P'nin bir özelliğine dair bilgi edinebiliriz. Fakat bir kez daha Heisenberg belirsizlik ilkesine göre, bu ölçümün sonucunda kaçınılmaz olarak P'nin bir başka özelliğine dair tüm bilgiyi kaybederiz.

Ancak her şey yitirilmiş değil. P*, A'yla dolanık olduğundan, A hakkındaki bilgi kalacaktır. Ve A da P'yle dolanık olduğundan, P'yle ilgili olan bilgi de halen tutuluyor olacaktır. Bunun anlamı, P'yle hiçbir zaman teması olmamış olsa da, P*'ın P hakkındaki sırları biliyor olmasıdır. Dahası, A ve P üzerine birlikte bir ölçüm yapıldığında ve P'nin bir özelliğine dair belli bir bilgi kaybolmuş gibi göründüğünde, bu bilgi o an içinde A'nın çifti P*'dan sağlanabiliyor olacaktır. Bu durum, dolanıklığın bize bir iyiliği olarak düşünülebilir.

A'dan sağladığımız bilgiler ışığında, P'nin diğer özellikleri hakkında da bilgi sahibi olduğumuzdan, artık P*'ın

P'yle tıpatıp aynı özelliklere sahip olduğundan emin olabilmemiz için gerekli olan her şey elimizde demektir.[3] Böylece Heisenberg belirsizlik ilkesinin kısıtlamalarını bertaraf etmek için dolanıklığı kullanmış oluruz.

Şaşırtıcı *olan ise her ne kadar P* parçacığının* P'yle tıpatıp aynı özelliklere sahip olabilmesi için dolanıklıktan faydalanmış olsak da, aslında hiçbir zaman P'nin kaybolan özelliğine dair herhangi bir bilgiye sahip olmamamızdır! Bu bilgi, hiçbir zaman gözlemleyememiş olsak da, dolanıklığın ürkütücü bağlantılarıyla aktarılmıştır.[4]

Aslında bu olayı ışınlanma olarak adlandırmak da biraz komiktir, çünkü yukarıda anlatılan çıkış yolu, bir *Uzay Yolu* ışınlayıcısı inşa edebilmenin önündeki sayısız engelden yalnızca birine çözüm önermektedir. Konu üzerinde çalışan araştırmacıların bu güç durumun farkında olduklarından emin olabilirsiniz. Ancak inanın bu araştırmacılar ara sıra gazete manşetlerine çıkmanın da bir iki yolunu elbette ki biliyor.

Uzay Yolu ışınlayıcısının yumuşak karnının, ne ışınlanacak kişinin vücudundaki her bir atomun pozisyonunun (ve diğer verilerin) saptanması, ne de bu bilgiyi kullanarak kişinin bir kopyasını oluşturmak olduğu anlaşılmıştır. Asıl sorun, ışınlanacak kişiyi uzayda tanımlamak için ihtiyaç duyulan bilginin aktarımıdır. Işınlanma sürecinde, stüd-

---

[3] Orijinal parçacıktaki (P) bilginin normal yollardan aktarılması gerekmektedir. Bunun anlamı, aktarımın, kozmosun nihai hız sınırı olan ışık hızından daha yavaş olması gerektiğidir. Bu yüzden, P ve P* birbirlerinden çok uzakta olsa bile dolanık parçacıklar A ve P arasındaki iletişimin anlık olduğu gerçeğine rağmen, P'*'ın (P'nin kusursuz kopyası) yaratılması aynı anda olmaz.

[4] Dolanıklıkla bile yapılabileceğinizin en iyisinin, bir nesnenin kopyasını ancak orijinal nesneyi yok etme pahasına çıkarmanız olduğunu belirtmekte fayda var. Hem bir kopya yaratmak hem de orijinalini korumak maalesef imkânsız görünüyor.

yodan çıkan iki boyutlu bir TV görüntüsünün yeniden sizin TV'nizde oluşturulabilmesi için gerekenden milyarlarca kat daha fazla bilginin aktarılması lazım. Bilgiyi yollamanın en bariz yolu ikili "bit"ler olarak görünüyor: nokta ve çizgiler. Eğer ki bu bilgi makul bir zamanda gönderilmek zorundaysa, vurumlar kısa olmalıdır. Ultra-kısa vurumlar ancak ultra-yüksek enerjili ışıkla mümkündür. Bilimkurgu yazarı Arthur C. Clarke'ın ortaya koyduğu gibi, Kaptan Kirk'ü ışınlamak küçük bir galaksideki tüm yıldızların sahip olduğundan çok daha fazla enerji gerektirir.

Işınlanma ve yerel olmama bir kenara, dolanıklığın en çarpıcı noktası, bütün olarak evren için ifade ettiği esas anlamdır. Bir zamanlar, evrendeki tüm parçacıklar aynı durumdaydı. Çünkü tüm bu parçacıklar Büyük Patlama sırasında aynı yerdeydi. Dolayısıyla evrendeki tüm parçacıkların bir noktaya dek, birbirleriyle dolanık olduğunu düşünmemizin önünde hiçbir engel yok.

Evrenin içindeki her şeyi kenetleyen bir kuantum ağı bulunuyor ve bu ağ sizi, beni ve en uzak galaksideki bir maddeyi son zerresine dek birbirine bağlıyor. Telepatik bir evrende yaşıyoruz. Bunun gerçekte ne anlama geldiği ise henüz fizikçiler için bir muamma.

Her şey bir kenara, dolanıklık, kuantum teorisinin ortaya koyduğu önemli bir soru üzerinde de bize yardımcı olabilir: Gündelik dünya nasıl oluşmaktadır?

Gündelik Dünya Nasıl Oluşur?

Kuantum teorisine göre, farklı durumların süperpozisyonlarının var olması yalnızca mümkün olmakla kalmaz, aynı zamanda garanti altındadır. Bir atom aynı anda birçok yerde bulunabilir ve birçok şey yapabilir. Mikroskobik dünyada gözlemlenen tuhaf olayların birçoğuna yol açan, bu olasılıklar arasındaki girişimdir. Ancak çok sa-

yıda atom gündelik dünyadaki nesneleri oluşturmak için bir araya geldiği halde, bu nesnelerin hiçbir zaman kuantum davranışları göstermemesinin nedeni nedir? Örneğin bir ağaç hiçbir zaman aynı anda hem evinizin önünde hem de arkasında takılamaz (tek bir ağacınız olduğu sürece bu imkânsızdır) ya da hiçbir hayvan aynı anda hem bir kurbağa hem de zürafa gibi davranmaz.

Bu güç çelişkiyi açıklığa kavuşturmaya yönelik ilk girişim, 1920'li yıllarda, kuantumun öncülerinden Niels Bohr tarafından Kopenhag'da gerçekleştirildi. Kopenhag Yorumu, evreni farklı kanunlarla yürüyen iki alana ayırır. Bir tarafta, kuantum teorisi tarafından yönetilen çok küçük parçacıkların dünyası; diğer tarafta ise normal ya da klasik kanunlarla işleyen çok büyük şeylerin dünyası bulunmaktadır. Kopenhag Yorumu'na göre, atom gibi bir kuantum parçacığı klasik bir nesneyle etkileşime girdiğinde, bu parçacık şizofren süperpozisyonundan çıkmak ve "akla uygun" davranmak zorunda kalır. Bu klasik nesne bir ölçüm cihazı, hatta bir insan bile olabilir.

Peki ama, klasik nesne, kuantum parçacığını kuantumluktan çıkarmak için tam olarak ne yapıyor? Daha da mühimi, klasik anlamıyla "nesneyi" meydana getiren ne? Sonuçta, insan gözü her biri kuantum teorisine riayet *eden çok sayıda atomdan oluşmaktadır*. Bu ikilem Kopenhag Yorumu'nun zayıf noktasıdır ve yaklaşımın, gündelik dünyanın nasıl oluştuğunu açıklamakta yetersiz kalmasının esas nedenidir.

Kopenhag Yorumu evreni, gayet keyfi bir biçimde, yalnızca biri kuantum teorisine riayet eden iki farklı alana ayırır. Aslında yorumun temelini oluşturan bu durum, aynı zamanda yorumu bozguna da uğratmaktadır. Her şey bir kenara, eğer ki kuantum teorisi gerçekliğin temel açıklaması ise, bu teori her yerde geçerli olmak durumundadır

– hem atomların dünyasında hem de gündelik dünyada. Günümüz fizikçileri kuantumun evrensel bir teori olduğuna inanıyor.

Bu durumda, bir kuantum sistemini hiçbir zaman doğrudan gözlemleyemeyeceğimiz ortaya çıkıyor. Yalnızca kendi çevresi üzerindeki etkilerini gözlemleyebiliyoruz. Bunu gerçekleştirecek olan bir ölçüm cihazı, insan gözü ya da genel anlamıyla evren olabilir. Örneğin bir nesneden gelen ışık retina tabakasına çarpar ve burada bir görüntü yaratır. Gözlemcinin ne *bildiği*, gözlemcinin ne *olduğundan* soyutlanamaz. Aynı şekilde, kuantum teorisi her yerde geçerliyse, elimizde bir başka kuantum nesnesini gözlemleyen ya da kaydeden bir kuantum nesnesi var demektir. Bu noktada asıl sorumuzu yeniden sorabiliriz: Gündelik dünyanın tek-bir-anda-tek-bir-yerde durumları bunu yapabiliyorken, tuhaf şizofren durumlar kendilerini çevre üzerinde yansıtmada (ya da çevreyle *dolanıklık* yaratmada) neden başarısız oluyor? Bir örnek üzerinden gitmek işimizi kolaylaştırabilir.

Yüksek hızda bir atomaltı parçacık havada uçuyorken, yakınından geçtiği tüm elektronların atomlarından ayrılmasına neden olur. Bu parçacığın uçuşunun 10 santimetrelik bir aralığını gözlemlemenin mümkün olduğunu varsayalım. Ve bu 10 santimetre içerisinde, parçacığın bir elektronla etkileşime girme ve bu elektronu dahil olduğu atomdan söküp atma olasılığının yüzde 50 olduğunu düşünelim.

Bu durumda, parçacık ya bir elektrona çarparak onu ait olduğu çevreden çıkaracak ya da bunu yapmayacaktır. Öte yandan bir elektrona çarparak onu atomundan çıkarmak bir kuantum olayı olduğundan, bir olasılık daha söz konusudur: bu iki olayın süperpozisyonu. Bir diğer ifadeyle, parçacık bir elektrona hem çarpmakta hem de çarpmamaktadır! Soru: Bu olay çevreyle dolanıklığa gir-

diğinde, neden bu durum doğrudan gözlemlenebilir bir sonuca yol açmıyor? Talihimiz varmış ki, "sis odası" adı verilen becerikli bir cihaz sayesinde elektron püskürtme olayını gerçekten *görmemiz* imkân dahilinde.

Bulutlar, hava sıcaklığındaki bir düşüşün, su buharının su damlacıkları olarak yoğunlaşmasına neden olması sonucunda oluşur. Bu sürecin hızlı bir şekilde gerçekleşmesi ancak su damlacıklarının büyüyeceği yerlerin çevresinde "tohum" olarak davranacak toz tanecikleri bulunduğunda olur. Tohumun bir toz parçacığı kadar büyük olması şart değildir – bu durum sis odası çalışma prensibinin de en önemli noktasıdır. Aslına bakılacak olursa, elektron kaybetmiş bir atom bile yeterli olacaktır – yani bir iyon.

Sis odası, su buharıyla doldurulmuş bir kutudur; kutunun bir tarafında ise içerisinde olanları gözlemlememize imkân tanıyacak bir pencere bulunmaktadır. Su buharı ultra-saf bir durumdadır; bu nedenle buharın yoğunlaşmasını sağlayacak tohumlar yoktur. Buhar, çaresizlik içinde su damlacıkları oluşturmak zorunda olduğu, fakat tohum olmadığından bunu gerçekleştiremediği bir durumda tutulmaktadır. Sis odasına yüksek hızda atomaltı bir parçacık girdiğinde, bu parçacık bir atomdan elektron çıkarır ve bu iyonun etrafında anında bir su damlacığı oluşur. Damlacık küçüktür. Ancak sis odası doğru bir şekilde aydınlatıldığı takdirde, pencereden görülebilir.

Peki öyleyse pencereden baktığınızda ne görebilirsiniz? Elbette ki olasılıklardan birisini – ya tek bir su damlacığı ya da hiç su damlacığının olmaması. Asla göremeyeceğiniz şey ise her iki durumun süperpozisyonu; bir diğer ifadeyle mevcudiyetle yokluk arasında asılı, hayaletimsi bir damlacıktır. O zaman sorumuzu yenilememiz gerekiyor: Sis odasının içinde, süperpozisyonun kaydedilmesini engelleyen unsur ne?

Deneyimizde su damlacığının oluştuğunu düşünelim. Bu damlacık tek bir iyonize atom tarafından tetiklenmiştir. Aynı atom, damlacığın oluşmadığı durumda da var olmaktadır. Yalnızca iyonize olmamıştır ve bu nedenle de çevresinde bir su damlacığı oluşmaz. Her iki durumda da bu atomun fark edilebilmesi için kırmızıya boyandığını düşünelim (lütfen bir atomun asla boyanamayacağı gerçeğini bir an için unutun!).

Şimdi, damlacığın oluştuğu durumda, kırmızı atomun yanındaki bir başka atoma odaklanalım. Su, su buharından daha yoğundur ve atomlar da birbirlerine daha yakındır. Dolayısıyla söz konusu atom kırmızı atomumuza, su damlacığının oluşmadığı duruma kıyasla çok daha yakın olacaktır. Bu nedenle, ilk olaydaki atomu temsil eden olasılık dalgası, ikinci olaydaki aynı atomun olasılık dalgasıyla yalnızca kısmen örtüşebilir. Diyelim ki, dalgalar yalnızca yarı yarıya örtüşsün.

Şimdi ilk olay için ikinci bir atom alalım. Bu atom da, ikinci olaya kıyasla, kırmızı atomumuza daha yakın olacak ve bir kez daha, olasılık dalgaları yarı yarıya örtüşecektir. ½ x ½ = ¼ olduğundan dolayı, iki atomu birlikte temsil eden olasılık dalgası ise ikinci olayın olasılık dalgasıyla yalnızca ½ oranında örtüşecektir.

Bunun nereye gittiğini görüyor musunuz? Su damlacığının bir milyon atom içerdiğini düşünelim. İlk olaydaki bir milyon atomu temsil eden olasılık dalgasının ne kadarı, ikinci olaydaki bir milyon atomu temsil eden olasılık dalgasıyla örtüşür? Cevap, ½ x ½ x ½ x ... bu işlemi bir milyon kere yapmanız gerekir. Ortaya çıkan sonuç inanılmaz küçüklükteki bir sayı olacaktır. Aslında sonuç neredeyse sıfır örtüşmedir.

Peki ama, iki dalga hiç örtüşmüyorsa, nasıl girişimde bulunabilir? Cevap, elbette girişimde bulunamayacakla-

rıdır. Öte taraftan tüm kuantum olaylarının temelinde girişim bulunur. Eğer iki olay arasında girişim imkânsızsa, ya bir olayı ya da diğerini görürüz; ancak hiçbir zaman diğer olayla birbirine karışmış bir olayın neden olduğu etkileri göremeyiz. Kuantumun özü de budur.

Birbirleriyle örtüşmeyen ve bu nedenle de girişimde bulunamayan olasılık dalgalarının "evre uyumluluğunu" yitirdiği; bir diğer ifadeyle evre uyumsuzluğu durumuna geçtikleri söylenir. Evre uyumsuzluğu, her durumda birçok atomdan oluşmakta olan bir çevrede gelişen "bir kuantum olayının kaydının" hiçbir zaman "kuantum olamamasının" asıl nedenidir. Sis odası için konuşacak olursak, "çevre," iyonize olan veya olmayan atomun etrafındaki bir milyon atomdur. Diğer taraftan genel olarak çevre, evrendeki katrilyonlarca atomdan oluşmaktadır. Bu bağlamda evre uyumsuzluğu, çevre ve dolanık durumdaki olayların olasılık dalgaları arasındaki bir örtüşmenin yok olmasında büyük etki sahibidir. Ve onları deneyimlememiz için tek yol bu olduğundan (gözlemcinin ne *bildiği*, gözlemcinin ne *olduğundan* soyutlanamaz), kuantum davranışlarını yaşadığımız gündelik dünya içinde hiçbir zaman doğrudan göremeyiz.

6

ÖZDEŞLİK VE FARKLILIĞIN KÖKLERİ

Bir Elektronu İşaretleyemeyeceğiniz Gerçeği, Gündelik Dünyanın İnsanı Sersemleten Çeşitliliğine Nasıl Sebep Olur

Bir sabah uyandığımda, tüm eşyalarım çalınmış ve tıpatıp aynı olan eşleriyle değiştirilmişti.
Steven Wright

Yukarı doğru akan nehri görmek için her yerden geldiler. Nehir balıkçı limanını geçip bitişik nizam evlerin arasından tırmanarak, yamacı yılankavi bir şekilde aşıyor ve kasabaya tepeden bakan sarp zirveye ulaşıyordu. Şaşkın martılar nehre dalıp çıkıyor, heyecanlanan çocuklar yanı başında koşturuyorlardı. Ve nehrin aşağı kesimleri boyunca uzanan meyhanelerin önündeki piknik masalarında, bardaklardan tırmanan biralar kendilerini

usulca yere dökerken, günübirlikçiler doğanın bu mucizesi karşısında yerlerine mıhlanıp kalmıştı.

Gerçekten de, yerçekimine bu şekilde meydan okuyarak yukarı doğru akacak bir sıvı türü olabilir mi? Evet, olabilir! Ve bu da, kuantum teorisinin bir başka marifeti.

Atomlar ve türevleri imkânsız birçok şey yapabilir. Örneğin aynı anda iki yerde birden bulunabilir, aşılamaz sanılan engelleri rahatlıkla geride bırakabilir ve evrenin iki ayrı ucundayken bile birbirlerinin durumları hakkında anında bilgi sahibi olabilirler. Ayrıca bütünüyle öngörülemez bir durumdadırlar; yaptıkları hiçbir şeyin nedeni yoktur. Belki de karakteristik özelliklerinden en şaşırtıcı ve rahatsızlık verici olanı da budur.

Bütün bu özellikler, elektron, proton ve türevlerinin dalga/parçacık karakterinden kaynaklanır. Ancak mikroskobik nesneleri gündelik dünyanın bilindik cisimlerinden böylesine farklı kılan, yalnızca kendilerine özgü bu ikili doğaları değildir. Bir şey daha söz konusudur: *ayırt edilemezlikleri.* Her elektron diğer bir elektronla, her foton diğer bir fotonla özdeştir.[1]

İlk bakışta bu, çok dikkate değer bir özellik gibi görünmeyebilir. Ancak gündelik dünyadaki nesneleri düşünün. Mesela aynı model ve renkte iki otomobil aynıymış gibi görünse de, aslında aynı değildirler. Dikkatli bir muayeneyle boyalarının düzgünlüğü, lastiklerinin hava basıncı gibi binlerce açıdan farklı oldukları anlaşılabilir.

Bu durumu küçük şeylerin dünyasıyla karşılaştıralım. Mikroskobik parçacıklar herhangi bir şekilde işaretlenemez. Bir elektronu mimleyemezsiniz! Köküne dek ayırt e-

[1] Fotonlar farklı *dalga boylarında* olabileceğinden, burada elbette birbirleriyle *aynı dalga boyunda* olan fotonların özdeşliğinden bahsediyoruz.

dilemez bir durumdadırlar.[2] Aynı şey, fotonlar ve mikroskobik dünyanın diğer sakinleri için de geçerlidir. Bu ayırt edilemezlik, bizim için yabana atılmayacak bir yeniliktir ve hem mikroskobik dünya hem de gündelik hayatımız açısından çok mühim sonuçları vardır. Aslına bakılacak olursa, içinde yaşadığımız dünyanın var olmasının tek nedeninin bu olduğu söylenebilir.

Birbirinden Ayırt Edemediğiniz Şeyler Girişimde Bulunur

Mikroskobik dünyadaki –atomun aynı anda birden çok yerde bulunabilme özelliği gibi– tüm garip davranışların, girişimden kaynaklandığını hatırlayın. Örneğin çift yarık deneyinde, ikinci perde üzerinde dönüşümlü olarak değişen karanlık ve aydınlık şeritlerin karakteristik desenini oluşturan, soldaki yarıktan geçen parçacığın bağlı olduğu dalga ile sağdaki yarıktan geçen parçacığın bağlı olduğu dalga arasındaki girişimdir.

Alternatiflerden hangisinin gerçekleştiğini anlamak için, parçacığın yarıkların hangisinden geçtiğini gözlemleyebileceğimiz bir düzenek oluşturduğumuzda, evre uyumsuzluğu yüzünden girişim şeritlerinin yok olacağını da hatırlayın. Görünen o ki girişim ancak birbirinin alternatifi durumundaki olaylar ayırt edilemez olduğunda gerçekleşmektedir – çift yarık deneyi açısından, bir yarıktan geçen parçacık ve diğer yarıktan geçen parçacık.

---

[2] John Wheeler ve Richard Feynman elektronların neden hiçbir şekilde ayırt edilemez olduğu sorusuna gayet ilginç bir öneri getirdiler. Çünkü evrende yalnızca tek bir elektron vardır! Wheeler ve Feynman'a göre, bu elektorn zamanda ileri-geri hareketlerle bir ağ örmektedir; tıpkı bir duvar halısı üzerinde gidip gelen iplik gibi. İpliğin halının dokumasına girip çıkarak ilmekler oluşturduğunu görür ve yanılarak her bir ilmeğin farklı bir elektron olduğunu düşünürüz.

Çift yarık deneyinde, kimse gözlemlemediği sürece alternatif olaylar *ayırt edilemez* durumdadır. Diğer taraftan elektronlar gibi özdeş parçacıklar, başka türden ayırt edilemez olayların gerçekleşmesine de imkân tanır.

Kız arkadaşıyla dansa gitmeyi planlayan bir çocuk düşünelim. Kız arkadaşının da tek yumurta ikizi olsun. Ve kız arkadaşı evde kalıp televizyon izlemeyi tercih ettiğinden, kendi yerine ikiz kardeşini göndersin. Her iki kız da çocuğa aynı gözüktüğünden (elbette ki mikroskobik düzeyde asla özdeş olamazlar), kız arkadaşıyla dansa gitmek ve kız arkadaşının kardeşiyle dansa gitmek birbirinden ayırt edilemez olaylardır.

Görünüşte ayırt edilemez unsurlar içermelerinden dolayı, ayırt edilemez olan bu türden olayların, canı sıkılan özdeş ikizlerin erkek arkadaşlarıyla eğlenmesi gibi durumları bir kenara koyacak olursak, dünya üzerinde çok ciddi sonuçları olduğu söylenemez. Öte yandan mikroskobik dünya için durum farklıdır. Peki neden? Çünkü ayırt edilemez olaylar, buna yol açan her ne olursa olsun, birbirleriyle girişimde bulunabilir.

Özdeş Şeylerin Çarpışması

Çarpışan iki atom çekirdeğini ele alalım. Bu türden bir çarpışma, çekirdeklerin zıt yönlerden birbirlerine doğru geldiği, çarpıştığı ve ardından yine zıt yönlerde uzaklaştığı bir bakış açısından değerlendirilebilir (ki bu bakış açısının doğruluğuna güvenmek durumundayız). Genel olarak, içeri ve dışarı doğru olan bu yönler aynı değildir. Bu durumu bir saat üzerinde düşünelim. Eğer ki çekirdekler çarpışma noktasına saat 9:00 ve 3:00 yönlerinden gelecek olursa, çarpışmanın ardından saat 4:00 ve 10:00 yönlerinde uzaklaşabilirler. Ya da 1:00 ve 7:00 yönlerinde. Önemli olan, yönlerin birbirine zıt olmasıdır.

Bir araştırmacı, iki çekirdeğin hangi yönde sektiğini, hayali bir saat kadranı üzerinde zıt yönlere dedektörler yerleştirerek ve saati çevirerek gözlemleyebilir. Dedektörlerin 4:00 ve 10:00 noktalarında olduğunu düşünelim. Bu durumda, çekirdeklerin dedektörler tarafından algılanmasının iki olası yolu vardır. Çekirdekler birbirlerini sıyırarak geçebilir ve 9:00 yönünden gelen çekirdek 4:00'deki dedektöre, 3:00 yönünden gelen çekirdek ise 10:00'daki dedektöre çarpabilir. Ya da kafa kafaya çarpışırlar ve 9:00 yönünden gelen çekirdek neredeyse geldiği yönde geri sekerek 10:00 noktasındaki dedektöre; 3:00 yönünden gelen çekirdek ise aynı şekilde geldiği yöne doğru sekerek 4:00 noktasındaki dedektöre çarpar.

4:00 ve 10:00 yönlerinin özel bir önemi yok. Dedektörler nereye yerleştirilirse yerleştirilsin, çekirdeklerin bu dedektörlere gelmesinin iki alternatif yolu bulunmaktadır. Bu alternatif olaylara da A ve B diyelim.

Çekirdekler birbirlerinden farklıysa ne olur? Örneğin 9:00 yönünden gelenin bir karbon ve 3:00 yönünden gelenin ise bir helyum çekirdeği olduğunu düşünelim. Bu durumda, her zaman A ve B olaylarını birbirinden ayırt etmek mümkün olacaktır. Sonuçta, 10:00 noktasındaki dedektöre bir karbon çekirdeği çarptığında, A olayının gerçekleştiği aşikârken, 3:00 noktasındaki dedektöre çarptığında ise B olayının gerçekleştiğini söyleyebiliriz.

Peki ama, iki çekirdek aynıysa? Diyelim ki, ikisi de helyum çekirdeğiyse? Bu durumda, A ve B olaylarını birbirinden ayırt etmek imkânsızdır. 10:00 noktasındaki dedektör tarafından algılanan bir helyum çekirdeği bu dedektöre her iki alternatif yoldan da gelmiş olabilir; aynı durum 4:00 noktasındaki dedektör tarafından algılanan helyum çekirdeği için de geçerlidir. A ve B olayları ayırt edilemez. Ve de mikroskobik dünyada ayırt edilemez olaylarla bağlantılı dalgalar girişimde bulunur.

İki çekirdeğin çarpışmasında, girişim büyük bir fark yaratır. Örneğin ayırt edilemez iki çarpışma olayıyla bağlantılı iki ayrı dalganın, 10:00 ve 4:00 yönlerinde, yıkıcı bir şekilde girişime girmesi ya da birbirlerini sönümlendirmeleri olasıdır. Böyle bir şey gerçekleştiği takdirde, deney ne kadar tekrar edilirse edilsin, dedektörler herhangi bir çekirdek saptayamaz. Aynı şekilde, iki dalganın 10:00 ve 4:00 yönlerinde yapıcı bir girişime girmesi ya da birbirlerini kuvvetlendirmeleri de olasıdır. Bu durumda dedektörler normalden daha yüksek sayıda çekirdek saptayacaktır.

Genel olarak, girişim nedeniyle, A ve B olaylarıyla bağlantılı dalgaların, birbirlerini sönümlendirdikleri ya da kuvvetlendirdikleri, dışa doğru kesin yönler olacaktır. Dolayısıyla deney binlerce kez tekrar edildiğinde ve hayali saat kadranının etrafında seken çekirdekler dedektörler tarafından saptandığında, dedektörlere ulaşan çekirdeklerin sayısında inanılmaz değişkenlikler olur. Bazı dedektörler birçok çekirdek saptarken, bazıları da hiç çekirdek saptayamaz.

Ancak bu durum, çekirdeklerin farklı olduğu durumdan önemli ölçüde ayrılmaktadır. Çekirdekler farklı olduğunda, girişim olmaz ve dedektörler çekirdeklerin tüm yönlerde sektiğini saptar. Saat kadranının etrafında çekirdek görünmeyen hiçbir nokta olmaz.

Çekirdeklerin aynı ve farklı olduğu durumlarda deneyden elde edilen sonuçlardaki çarpıcı farklılıklar, karbon ve helyum çekirdeklerinin kütle farkından kaynaklanmamaktadır – yine de bu kütle farkının az da olsa etkisi vardır. Asıl neden, çarpışma olayları A ve B'nin ayırt edilemez olup olmadığıdır.

Bu türden bir şeyin gerçek dünyada vuku bulduğunda ne anlama gelebileceğini düşünün. Durmaksızın çar-

pıştırılan mavi bir bovling topuyla kırmızı bir bovling topu olası tüm yönlerde sekecektir. Ancak kırmızı topu maviye boyadığımız anda iki top ayırt edilemez olur ve bu da her şeyi değiştirir. Birdenbire, farklı renklerde oldukları duruma nazaran, bazı yönlerde daha fazla sekerken, bazı yönlerde ise hiç sekmemeye başlarlar.

Mikroskobik dünyada özdeş parçacıklar içeren olayların birbirleriyle girişime girebileceği gerçeği, yalnızca bir kuantum tuhaflığı gibi görünebilir. Ancak değildir. Doğada var olan tek bir değil, 92 farklı atom bulunmasının nedeni budur ve içinde yaşadığımız dünyanın çeşitliliği buna dayanmaktadır. Öte yandan bunu anlamak, özdeş parçacıkların çarpışma sürecine dair ince bir noktayı daha bilmeyi gerektiriyor.

Parçacıkların İki Kabilesi

Çekirdeklerin farklı olduğu durumu (karbon ve helyum) hatırlayın ve iki olası çarpışma olayını yeniden değerlendirin. Birinde, çekirdekler birbirlerini sıyırarak geçerken, diğerinde kafa kafaya çarpışarak geldikleri yönde geriye sekerler. Bunun anlamı, 9:00 yönünden gelen çekirdek için, 4:00 ve 10:00 yönlerine yönelmesiyle bağlantılı iki dalganın olmasıdır.

Burada anlaşılması gereken temel nokta, bir olayın olasılığının, bu olayla bağlantılı dalganın yüksekliğiyle değil, dalganın yüksekliğinin karesiyle bağlantılı olmasıdır. Dolayısıyla 4:00 yönündeki olayın olasılığı 4:00; 10:00 yönündeki olayın olasılığı ise 10:00 yönündeki dalga yüksekliğinin karesidir. İşte tam da burada, yukarıda bahsettiğimiz ince nokta devreye giriyor.

10:00 yönünde uçan çekirdekle bağlantılı dalganın ters döndüğünü varsayalım. Bu durumda dalganın dip noktaları tepe, tepe noktaları ise dip noktaları olacaktır.

Peki bu, olayın olasılığı üzerinde bir değişikliğe yol açabilir mi? Bunu cevaplamak için, bir su dalgasını düşünelim – yani dönüşümlü tepe ve dip noktası serilerinden oluşan bir dalgayı. Suyun ortalama düzeyini sıfır kabul edelim; bu durumda, tepe noktalarının yüksekliği artı bir rakamken (diyelim ki artı 1 metre), dip noktaların yüksekliği ise eksi bir rakam olacaktır (eksi 1 metre). Dolayısıyla bir tepe ya da dip noktasının yüksekliğinin karesini almanız farklılık yaratmaz, çünkü (1 x 1 = 1) ve (-1 x -1 = 1)'dir. Bir diğer ifadeyle, seken çekirdekle bağlantılı olasılık dalgasının ters dönüp dönmemesi, olayın olasılığı üzerinde bir değişikliğe yol açmaz.

Peki ama, bir dalganın ters dönebileceğine inanmak için iyi bir nedenimiz var mı? Durum şu ki, 10:00 ve 4:00 çarpışmaları çok farklı olaylardır. Birinde, çekirdeğin gittiği yön neredeyse hiç değişmezken, diğerinde sert bir şekilde kendi üzerine dönmektedir. Bu durumda, 10:00 dalgasının ters dönebileceği en azından akla yatkın gelebilir.

Tamam, bir şeyin akla yatkın olması illa olacağı anlamına gelmez. Bu doğru. Ama burada oluyor! Doğanın elinde bu durum için iki olasılık bulunur: Bir çarpışma olayının dalgasını ya ters döndürür ya da döndürmez. Fakat her iki duruma da izin verdiği ortaya çıkmaktadır.

Peki, bir olasılık dalgasının ters dönüp dönmediğini nasıl anlayabiliriz? Sonuçta, bir araştırmacının ölçebileceği tek şey, dedektör tarafından algılanan çekirdeklerin sayısıdır ve bu da belli bir çarpışma olayının olasılığına dayanır. Öte yandan bu olasılık dalga yüksekliğinin karesiyle belirlenir ve bu sayı dalga ters dönsün ya da dönmesin aynıdır. Son tahlilde, çarpışmada olasılık dalgasına gerçekten ne olduğu bilinemez görünmektedir.

Çarpışan parçacıklar birbirinden farklıysa, bu kesinlikle doğru olur. Ancak bu parçacıklar özdeşse, durum hiç de öyle değildir. Bunun nedeni, ayırt edilemez olaylarla bağlantılı dalgaların birbiriyle girişimde bulunmasıdır. Ve girişim oluştuğunda, bir başka dalgayla birleşmeden önce, bir dalganın ters dönüp dönmediği büyük önem ifade eder. Dalganın durumu, tepe ve dip noktaların çakışıp çakışmadığı, dalgaların birbirini sönümlendireceğini mi yoksa güçlendireceğini mi belirleyecektir.

Özdeş parçacıkların çarpışmasında ne olur o zaman? Tuhaflık işte burada. Bazı parçacıklar için (mesela fotonlar), helyum çekirdeği için geçerli olan her şey, aynen geçerlidir. Alternatif çarpışmalarla bağlantılı dalgalar birbirleriyle normal bir şekilde girişimde bulunur. Öte yandan diğer parçacıklar için (mesela elektronlar) her şey kökten değişmektedir. Bu durumda alternatif çarpışma olaylarıyla bağlantılı dalgalar ancak biri ters döndükten sonra girişimde bulunur.

Burada, doğanın temel yapı taşlarının iki farklı kabileye ayrıldığı anlaşılıyor. Bir tarafta, dalgaları birbirleriyle normal bir şekilde girişimde bulunan parçacıklar bulunuyor. Yani bozonlar. Bozonlar, foton ve kütleçekimsel kuvvetin kuramsal taşıyıcıları olan gravitonları içerir. Diğer tarafta ise dalgaları ancak biri ters döndüğünde girişimde bulunabilen parçacıklar bulunuyor. Bunlar da fermiyon olarak adlandırılır ve elektron, nötrino ve müonları içerir.

Parçacıkların fermiyon ya da bozon olup olmadığı (bir diğer deyişle, dalga dönmesine riayet edip etmediği), spinlerine bağlı olarak anlaşılır. Diğerlerine göre spini daha fazla olan parçacıkların kendi eksenleri etrafında daha hızlı dönüyormuş gibi davrandığını hatırlayın (elbette ki kuantum dünyasında spine sahip parçacıklar aslında dön-

müyor olsalar da, bu gerçeği bir kez daha yok sayalım). Mikroskobik dünyada her şeyin bölünemez temel bir birimi olduğu gibi, spinin de bölünemez temel bir birimi olduğu anlaşılmaktadır. Spinin bu "kuantumu" 1/2 birimdir (birimlerin ne olduğunu dert etmeyin). Bozonların spini tamsayı (0 birim, 1 birim, 2 birim,...) ve fermiyonların spini ise "yarı-tamsayı"dır (1/2 birim, 3/2 birim, 5/2 birim,...).

Yarı-tamsayı spine sahip parçacıklara ait dalgalar ters dönerken, tamsayı spine sahip parçacıklarda bu neden gerçekleşmez? Çok yerinde bir soru. Fakat ne yazık ki, karmaşık matematiksel işlemlere girmeden daha ileri düzeyde bir açıklama getiremeyiz. Richard Feynman bu durumu şöyle açıklamıştır: "Bu, çok basit bir şekilde ortaya konabilen bir kural olmasına rağmen kimsenin basit bir açıklamasını bulamadığı, fizikteki ender noktalardan biridir. Muhtemelen bunun anlamı, konunun temel ilkelerini tam olarak kavrayamadığımızdır."

Atom bombası üzerinde çalışan ve 1965 Nobel Fizik Ödülü sahibi Feynman'ın II. Dünya Savaşı sonrası dönemin en önemli fizikçisi olduğu söylenebilir. Yani kuantum teorisinin fikirlerini biraz zor buluyorsanız, kendinizi yalnız hissetmenize gerek yok. Kuantum teorisinin doğumunun üzerinden geçen 80 küsur yılın ardından fizikçiler halen teorinin üzerindeki sisin kalkmasını beklemekte. Belki de ancak o zaman teorinin bize temel gerçeklik hakkında ne anlatmaya çalıştığını net bir şekilde görebileceğiz. Feynman'ın da dediği gibi: "Sanırım henüz kimsenin kuantum mekaniğini anlamamış olduğunu gönül rahatlığıyla söyleyebilirim."

Bu noktada spinin gizemini halının altına süpürüp yolumuza devam edecek olursak, tüm bu anlattıklarımızın odak noktasına geliyoruz: elektron türünden fermiyonlar için dalganın ters dönüşünün ne anlama geldiğine.

İki helyum çekirdeği yerine, her biri başka parçacıkla çarpışan iki elektron düşünelim. Çarpışma sonrasında, ikisi de aşağı yukarı aynı yönde sekiyor olsun. Elektronlara A ve B, yönlere ise (neredeyse aynı yön olmalarına rağmen) 1 ve 2 diyelim. İki özdeş çekirdeğin çarpıştığı durumda olduğu gibi, ayırt edilemez iki olasılık bulunmaktadır. A elektronu 1 yönünde, B elektronu ise 2 yönünde ya da A elektronu 2 yönünde ve de B elektronu 1 yönünde sekebilir.

Elektronlar fermiyon olduğundan dolayı, olasılıklardan biriyle bağlantılı dalga, diğer olasılıkla bağlantılı dalgayla girişimde bulunmadan önce, ters dönecektir. Öte yandan önemli olan nokta, iki olasılıkla bağlantılı dalgaların özdeş (ya da neredeyse özdeş) olduğudur. Sonuçta, neredeyse özdeş şeyler yapan iki özdeş parçacıktan bahsediyoruz. Ancak birisi ters dönmüş iki özdeş dalgayı birbiriyle topladığımızda, birinin tepe noktaları diğerinin dip noktalarıyla eşleşecek ve birbirlerini bütünüyle sönümlendireceklerdir. Bir başka deyişle, iki elektronun neredeyse aynı yönde sekme olasılığı sıfırdır. Bu tümüyle imkânsızdır!

Aslına bakılacak olursa, bu sonuç göründüğünden daha da geneldir. İki elektron yalnızca aynı yönde sekmekten değil, aynı şeyi yapmaktan da men edilmiştir. Avusturyalı fizikçi Wolfgang Pauli'nin adını alan ve Pauli dışlama ilkesi olarak bilinen bu yasanın, beyaz cücelerin mevcudiyetinin dayanak noktası olduğu anlaşılmıştır. Bir elektronun çok küçük bir hacimde tutulamayacağı kesinlikle doğru olsa da, bu durum bir beyaz cüce içindeki tüm elektronların neden aynı küçük hacme doluşamadığını tam olarak açıklamamaktadır. Pauli dışlama ilkesi ise buna bir cevap getirir: İki elektron aynı kuantum durumunda olamaz. Elektronlar antisosyal parçacıklardır ve birbirlerinden vebalıymış gibi uzak dururlar.

Bir de şu şekilde düşünün. Heisenberg belirsizlik ilkesinden dolayı, bir elektronun, bir beyaz cücenin kütleçekimi tarafından sıkıştırılabileceği asgari boyutta bir "kutu" vardır. Pauli dışlama ilkesi yüzünden ise her bir elektron kendisine özel bir kutu talep etmektedir. Birbirlerini destekleyen bu iki etki, elektronlardan oluşmuş gaza, beyaz cücenin korkunç kütleçekimiyle sıkıştırılmaya karşı koyabilmek için gerekli olan "katılığı" vermektedir.

Burada ince bir nokta daha söz konusu. Pauli dışlama ilkesi, eğer özdeş iseler, iki fermiyonun aynı şeyi yapmasını engellemektedir. Ancak spinleri nedeniyle, elektronlar birbirlerinden bir şekilde farklıdır. Biri saat yönünde, diğeri ise saat yönünün tersinde dönüyormuş gibi davranabilir.[3] Elektronların bu özelliği nedeniyle, iki elektronun aynı alanı kaplaması mümkündür. Asosyal olabilirler, ancak tam anlamıyla münzevi değildirler! Tamam, beyaz cüceler gündelik nesneleri pek andırmayabilir; ancak Pauli dışlama ilkesinin çok daha dünyevi sonuçları da var. Dışlama ilkesi, neden bu kadar farklı türde atomun bulunduğunu ve etrafımızdaki dünyanın nasıl bu kadar karmaşık ve ilgi çekici bir yer olduğunu da açıklamaktadır.

Neden Atomların Tümü Aynı Değil

Bir kilise orgu içinde hapsolmuş ses dalgalarının ancak kısıtlanmış yollardan titreşim sağlayabildiğini hatırlayın. Aynı durum, atomun içine hapsolmuş bir elektronla bağlantılı dalgalar için de geçerlidir. Her bir farklı titreşim, bir elektronun, atomun merkezindeki çekirdeğe göre belirli bir mesafede bulunan olası bir yörüngesine ve belirli bir enerji düzeyine denk gelmektedir (elbette ki, elektron ya da diğer mikroskobik parçacıklar için yüzde

[3] Fizikçiler bu iki yönü "yukarı" ve "aşağı" spin olarak adlandırır. Ancak bu yalnızca teknik bir terimdir.

100 kesinlikte bir rota olmadığından, söz konusu yörünge bir elektronu bulmak için en olası yer olarak kabul edilir).

Fizikçiler ve kimyagerler yörüngeleri numaralandırmaktadır. Taban durumu (*ground state*) olarak da bilinen en içteki yörünge 1, ardı sıra gelen yörüngeler ise içten dışa doğru 2, 3, 4... şeklinde numaralandırılmıştır. Bu kuantum numaralarının mevcudiyeti, mikroskobik dünyada (söz konusu olan elektron yörüngeleri olduğunda bile) her şeyin nasıl ara değerler olmaksızın, ayrık adımlarla meydana geldiğini ortaya koymaktadır.

Elektron bir yörüngeden, çekirdeğe daha yakın olan bir başka yörüngeye "sıçradığında," atom enerji kaybeder ve bu enerji dışa bir ışık fotonu olarak yayılır. Bu fotonun enerjisi tam olarak, iki yörünge arasındaki enerji farkına eşittir. Bunun zıt doğrultusunda bir atlamada ise atom, iki yörünge arasındaki enerji farkına eş düzeyde enerji taşıyan bir fotonu soğurur. Bu durumda, elektron bir yörüngeden çekirdeğe daha uzak olan bir başka yörüngeye sıçrar.

Işığın bu şekilde "yayılması" ve "soğurulması," neden her farklı atom türünün yalnızca belli özel enerjilere sahip (ve özel frekanslara bağlı) fotonları tükürdüğünü ya da yuttuğunu açıklamaktadır. Bu özel enerjiler aslında elektron yörüngeleri arasındaki enerji farklarıdır. Müsaade edilen sınırlı sayıda yörünge olduğundan yörüngeler arası geçişlerin sayısı da kısıtlıdır.

Ancak bu durum göründüğü kadar basit değil. Bir atomun içinde titreşen elektron dalgaları karmaşık bir yapıya sahip, üç boyutlu şeyler olabilir. Bu dalgalar, yalnızca elektronun çekirdekten belirli bir uzaklıkta bulunmasının daha olası olduğunu işaret etmekle kalmayıp aynı zamanda belli bir yönde bulunmasının daha olası olduğunu da ortaya koyuyor olabilir. Örneğin bir elektron dalgası, bir atomun kuzey ve güney kutuplarında, diğer yönlerde

olduğundan daha büyük olabilir. Bu türden bir yörüngede olan bir elektronun, kuzey ya da güney kutuplarda bulunma olasılığı daha yüksektir.

Üç boyutlu uzayda bir yönü tanımlamak iki sayı gerektirir. Yerkürede yalnızca enlem ve boylamın gerekli olduğunu düşünün. Benzer şekilde, çekirdeğe olan mesafesini tanımlayan sayılara ilaveten, çekirdekten uzaklığının dışında yönü de değişen bir elektron dalgasını tanımlamak için iki tane daha kuantum sayısı gerekir. Böylece toplamımız üç olur. Daha aşina olduğumuz (örneğin güneşin etrafında dönen gezegenlerinki gibi) yörüngelere hiç benzemediklerinden dolayı, elektron yörüngelerine özel bir ad konmuştur: orbitaller.[4]

Elektron orbitallerinin net şekli, su ve karbondioksit gibi molekülleri oluşturmak için farklı atomların nasıl birbirlerine bağlandığının saptanması açısından çok önemlidir. Burada anahtar durumunda olanlar, en dıştaki elektronlardır. Örneğin bir atom dış yörüngelerindeki bir elektronu, bir başka atomla paylaşarak kimyasal bir bağ oluşturabilir. En dıştaki elektronun tam olarak nerede olduğu bu anlamda çok önemlidir. Bulunma olasılığının en yüksek olduğu yerler atomun kuzey ve güney kutuplarıysa, atomun, kuzey ve güneydeki diğer atomlarla kimyasal bağ kurması çok daha kolay olacaktır.

Atomların sayısız birleşme biçimlerini inceleyen bilim dalı kimyadır. Atomlar en temel düzeydeki Lego taşlarıdır. Farklı yollarla bir araya getirerek, atomlardan bir çiçek, altın külçesi ya da insan oluşturulabilir. Ancak etrafımızdaki dünyada gördüğümüz inanılmaz çeşitlilikteki nesneleri yaratmak için bu Lego taşlarının tam olarak nasıl bir araya geldiği, kuantum teorisi tarafından belirlenmektedir.

---

[4] Yörüngeseller –yn.

Elbette ki, Lego taşlarıyla çok sayıda kombinasyon sağlanması, tek bir tür Lego taşından daha fazlasını gerektiriyor. Elimizde 92 tür Lego taşı var. Doğada bulunan en hafif element olan hidrojenden, en ağır olanı uranyuma kadar giden bir liste bu. Peki ama, neden bu kadar çok farklı türde atom bulunuyor? Neden hepsi de aynı değil? Bir kez daha, kuantum teorisine bağlanıyoruz.

Tamam Ama Neden Atomların Tümü de Aynı Değil

Bir çekirdeğin elektriksel güç alanına yakalanan elektronlar, dik bir vadinin tepesinde duran futbol toplarına benzetilebilir. Normal şartlar altında, bu topların hızla vadiden aşağı, olası en alçak noktaya, yani en içteki orbitale doğru inmesi gerekir. Ancak atomların içindeki elektronların gerçekleştirdiği bu olsaydı, o zaman bütün atomların az çok aynı boyutta olması gerekirdi. Daha da önemlisi, atomların nasıl kimyasal bir bağ kuracağını belirleyen en dış yörüngedeki elektronlar olduğundan, bütün atomların birbirlerine tam olarak aynı şekilde bağlanması gerektiğini de düşünebilirdik. Bu durumda, doğanın elinde oynayıp duracağı tek bir tür Lego taşı olurdu ve içinde yaşadığımız dünya da çok tekdüze bir yer...

Dünyayı donuk bir kadere yönelmekten kurtaran şey, Pauli dışlama ilkesidir. Elektronlar bozon olsaydı, atomun içindeki elektronlar en iç orbitalde birbirleri üstüne yığılırdı. Ancak elektronlar bozon değil, fermiyondur. Ve fermiyonlar da kalabalık oluşturmaktan hiç hoşlanmaz.

İşte bunun açıklaması: Farklı türlerdeki atomların farklı sayılarda elektronu vardır (ve elbette ki, bu elektron sayısı her zaman çekirdeklerindeki proton sayısıyla dengelidir). Örneğin en hafif atom olan hidrojenin yalnız-

ca tek bir elektronu varken, bu sayı doğadaki en ağır atom olan uranyumda 92'dir. Bu noktada çekirdeğin bir önemi yok; elektronlara odaklanacağız. Bir hidrojen atomuyla işe başladığınızı ve ardından her seferde tek bir tane olmak üzere, elektron eklediğinizi düşünün.

İlk yörünge, çekirdeğe en yakın, yani en içteki yörünge olacaktır. Elektronlar eklendikçe, öncelikle bu yörüngeye girerler. Bu yörünge dolduğunda ve artık tek bir elektron bile alamayacak duruma geldiğinde, eklenen yeni elektronlar, çekirdekten daha uzaktaki bir sonraki yörüngeye yığılmaya koyulur. Bu yörünge de dolduğunda, bir sonraki yörünge olan üçüncü yörüngeye geçilir. Ve bu böylece devam eder.

Çekirdekten belli bir mesafedeki, farklı yön kuantum sayılarına sahip bütün orbitallerin oluşturduğu yapıya kabuk adı verilir. En içteki kabuğu kaplayacak azami elektron sayısı ikidir – saat yönünde spine sahip bir elektron ve saat yönünün tersi spine sahip bir diğeri. Bir hidrojen atomunun bu kabukta bir, bir sonraki en küçük atom olan helyumun ise iki elektronu vardır.

Bir sonraki en küçük atom, üç elektrona sahip lityumdur. En içteki kabukta artık hiç yer kalmadığından, üçüncü elektron çekirdekten daha uzakta yeni bir kabuk başlatır. Bu kabuk da en fazla sekiz elektron alabilir. 10 elektrondan daha fazlasına sahip atomlar için, bu kabuk da tamamen kullanılır ve çekirdekten daha da uzakta olan bir diğeri oluşmaya başlar.

Aynı orbitalde iki elektrondan fazlasına (yani aynı kuantum sayılarına sahip olmalarına) müsaade etmeyen Pauli dışlama ilkesi, atomların birbirlerinden farklı olmasının nedenidir. Maddenin katılığının nedeni de budur. Richard Feynman'ın dediği gibi, "Masaları ve katı olan diğer her şeyi mümkün kılan, elektronların birbirleri üstüne çıkamadığı gerçeğidir."

Bir atomun nasıl davranacağı (yani kimliği) en dıştaki elektronlarına dayandığından, en dıştaki kabuklarında benzer sayıda elektronu olan atomlar benzer şekillerde davranır. Üç elektronlu lityumun da, 11 elektronlu sodyumun da, en dışta tek bir elektronu vardır. Dolayısıyla lityum ve sodyum benzer türlerde atomlarla bağlanır ve benzer özellikleri gösterir.

Pauli dışlama ilkesine tabî olarak, fermiyonlar hakkında çok fazla konuştuk. Peki, bozonlar? Bu türden parçacıklar dışlama ilkesine riayet etmediğinden, çok daha girişkendirler. Ve bu girişkenlikleri, lazerden sonsuza dek akan elektrik akımlarına ve yukarı doğru akan sıvılara kadar, imkânsız sanılan birçok şeyi olası kılmaktadır.

Bozonlar Neden Bir Arada Olmaktan Hoşlanır

İki bozon parçacığının küçük bir alanda uçtuğunu düşünelim. Biri güzergâhı üzerinde bir engelle karşılaşarak, diğeri de bir başka engele çarparak seksinler. Engellerin ne olduğunun bir önemi yok, çekirdek ya da herhangi bir başka şey olabilir. Önemli olan hangi yönde sekecekleridir. Ve bu yön her ikisi için de aynıdır.

Parçacıkları A ve B, sektikleri yönleri de (neredeyse aynı olmalarına rağmen) 1 ve 2 olarak adlandıralım. İki olasılığımız var. Biri, A parçacığının 1, B parçacığının 2 yönünde sekmesi; diğeri ise A'nın 2, B'nin 1 yönünde sekmesidir. A ve B mikroskobik dünyanın şizofren sakinleri olduklarından, A'nın 1'den, B'nin 2'den gitmesi için bir dalga; A'nın 2, B'nin 1'den gitmesi için de bir başka dalga söz konusudur.

Eğer ki iki bozon farklı türden parçacıklarsa, aralarında bir girişim yaşanamaz. Bu nedenle de, dedektörün seken iki parçacık saptaması olasılığı, ilk dalganın yüksekliğinin karesi artı ikinci dalganın yüksekliğinin ka-

residir (mikroskobik dünyada gerçekleşen herhangi bir şeyin olasılığının, her zaman, bu şeyle bağlantılı dalga yüksekliğinin karesi olduğunu hatırlayın). Şimdi, olan şu ki –ve bu noktanın doğruluğuna güvenmek durumundayız– iki olasılığın az çok aynı olduğu ortaya çıkmaktadır. Dolayısıyla genel olasılık da, kendi başlarına gerçekleşen her bir olayın olasılıklarının iki katıdır.

Her iki süreçte de, dalga yüksekliğinin 1 olduğunu düşünelim. Bu yüksekliklerin karesi alınır ve her iki sürecin olasılığını elde etmek için toplanırsa, sonuç (1 x 1) + (1 x 1) = 2 olur. Haklısınız, 1 olasılık olarak yüzde 100'e tekabül ediyorken, 2'nin tekabül ettiği olasılık saçma bir şey oluyor. Ancak biraz dayanın. Yine de olasılıklar arasında mukayese yapabiliriz. Zaten az sonra yapacağımız şey de bu.

Şimdi, iki bozonun özdeş parçacıklar olduğunu varsayalım. Bu durumda, iki olasılık (A'nın 1, B'nin 2'den ve A'nın 2, B'nin 1'den gitmesi) ayırt edilemez. Ve ayırt edilemez olduklarından ötürü de, bu olasılıklarla bağlantılı dalgalar birbirleriyle girişimde bulunabilir. Birleşmiş yükseklikleri 1 + 1'dir. Her iki sürecin bileşik olasılığı da: (1 x 1) x (1 x 1) = 4'tür.

Bu sayı, bozonların özdeş olmadığı durumun iki katını vermektedir. Diğer bir deyişle, iki bozon özdeş olduğunda, aynı yönde sekmeye, farklı oldukları duruma nazaran iki kat daha fazla meyilli olmaktadır. Ya da şu şekilde ortaya koyalım: Bir bozonun belli bir yönde sekmesi, bir başka bozon da aynı yönde sekmişse, iki kat daha olasıdır.

Bozonlar arttıkça bu etki çok daha önem kazanır. Ortada n tane bozon varsa, bir tane daha parçacığın aynı yönde sekme olasılığı, başka hiçbir bozon olmadığı durumdan n + 1 kat daha büyüktür. Burada sürü psikolojisinden bahsediyoruz! Var olan diğer bozonların bir şey yapıyor olması,

bu bozonlara eklenecek bir yenisinin de aynı şeyi yapacak olması olasılığını ciddi ölçüde arttırmaktadır.

Bozonların söz konusu girişkenliğinin, bizim için çok önemli sonuçları olduğu ortaya çıkmıştır: Örneğin ışığın yayılmasının pratik uygulamaları açısından.

Lazerler ve Yukarı Doğru Akan Sıvılar

Şu ana dek değerlendirdiğimiz tüm süreçler, çarpışan ve belirli bir yönde seken parçacıkları içermekteydi. Ancak bu zaruri bir durum değil. Üzerinde konuştuğumuz konular, parçacıkların yaratılması için de aynı şekilde geçerlidir. Örneğin ışık yayan atomlar tarafından, fotonların "yaratılması" için.

Fotonlar bozon sınıfında olduğundan, atomun bir fotonu belli bir yönde ve belli bir enerjiyle yayma olasılığı, eğer halihazırda bu yönde aynı enerjiyle uçuşan n sayıda foton varsa $n + 1$ kat artacaktır. Yayılan her yeni foton, bir başka fotonun yayılma şansını arttırır. Ve uzayın içinde hep birlikte uçuşan binlerce, hatta milyonlarca foton olduğunda, atom tarafından yeni fotonların yayılması olasılığı da muazzam derecede yükselir.

Sonuçlar etkileyicidir. Güneş gibi normal bir ışık kaynağı, her biri farklı enerji düzeylerinde fotonların kaotik bir bileşimini üretirken; lazer, uzayda uygun adım kusursuz bir tempoyla ilerleyen, durdurulamaz bir foton akışı üretir. Aslında lazer, bozonların girişkenliğine verilebilecek örneklerden yalnızca birisidir. Örneğin bozon atomlardan oluşmuş sıvı helyumu ele alalım.

Evrende en çok bulunan ikinci atom olan helyum-4, doğanın en nevi şahsına münhasır maddelerinden biridir.[5]

[5] Helyun-4 çekirdeğinde dört parçacığa sahiptir: iki proton ve iki nötron. Doğada daha seyrek bulunan helyum-3 aynı sayıda protona, ancak yalnızca bir tane nötrona sahiptir.

Helyum-4, henüz dünyada bulunmadan önce güneşte keşfedilen tek elementtir ve bütün sıvılar arasında en düşük kaynama noktasına (-269 derece) sahiptir. Dahası, normal atmosfer basıncında asla donmayan tek sıvı türüdür; en azından bu, normal atmosfer basıncında gerçekleşmez. Ancak tüm bu gerçekler, helyumun -271 derece sıcaklıktaki davranışının yanında önemsiz kalmaktadır. Bu lambda noktasının altında helyum bir süperakışkan olur.

Genellikle bir sıvı türü, bir parçasının hareket ettirilmesine yönelik herhangi bir girişime karşı direnç gösterir. Örneğin elinizdeki kaşıkla müdahale ettiğinizde pekmez buna karşı direnecektir veya içinde yüzmeye çalıştığınızda, su size karşı koyar. Fizikçiler bu durumu "direnç viskozitesi" olarak adlandırmaktadır. Aslında bu, sıvı içindeki sürtünmeden başka bir şey değildir. Fakat birbirlerine bağıl bir şekilde hareket eden katı maddeler arasındaki sürtünmeye alışkın olsak da (örneğin bir otomobilin lastikleriyle asfalt arasındaki sürtünme), bir sıvının birbirine bağıl olarak hareket eden parçaları arasındaki sürtünmeye aşina olduğumuz söylenemez. Bu bağlamda, güçlü bir şekilde direnç gösterdiğinden dolayı, pekmezin yüksek bir viskoziteye sahip olduğunu söyleriz (ya da basit bir şekilde ağdalı bir yapıda olduğunu).

Viskozite yalnızca, sıvının bir parçası, geri kalanından farklı bir şekilde hareket ettiğinde gözlemlenebilir. Atomların mikroskobik düzeyinde bunun anlamı, bazı sıvı atomlarının, diğerlerinin bulunduğu durumdan farklı durumlara sokulabileceğidir.

Normal sıcaklık şartlarındaki bir sıvının içinde, atomlar farklı hızlarda debelendikleri olası birçok farklı durumda bulunabilir. Ancak sıcaklık düştükçe, hızlarını kaybederler ve bulunabilecekleri durumların sayısı da gittikçe azalır. Öte yandan bu etkiye rağmen, en düşük sıcaklıklarda bile tüm atomlar aynı durumda olmayacaktır.

Ancak sıvı helyum gibi, bozonlardan oluşmuş sıvılarda durum biraz daha farklı. Belli bir durumda olan n tane bozon varsa, yeni bir bozonun bu duruma girme olasılığının, bu durumda olan başka hiçbir parçacık yoksa olacağından $n + 1$ kat daha büyük olduğunu hatırlayın. Sayısız helyum atomuna sahip sıvı helyum için, n çok büyük bir sayıya tekabül eder. Ve sıvı helyum yeterince düşük derecelere soğutulduğunda, tüm helyum atomlarının birdenbire aynı durum içinde toplaşmak için çabalamaya başlayacağı bir an gelir. Bu duruma Bose-Einstein yoğunlaşması denmektedir.

Tüm helyum atomları aynı durumda olduğunda, sıvının bir parçasının, geri kalandan farklı bir şekilde hareket etmesi imkânsız ya da en azından aşırı güçtür. Bazı atomlar ilerliyorsa, bütün atomların da ilerlemesi gerekir. Bu nedenle de sıvı helyumun hiç viskozitesi yoktur. Artık bir süperakışkandır.

Süperakışkan durumundaki sıvı helyumun içindeki atomların hareketlerinde bir tür katılık, değişmezlik söz konusudur. Sıvının herhangi bir şey yapmasını sağlamak çok güçtür, çünkü bunun için bütün atomlarını söz konusu şeyi yapmaları için ikna etmeniz gerekir; aksi takdirde bu şeyi asla yapmayacaklardır. Örneğin su doldurduğunuz bir kovayı kendi ekseninde döndürdüğünüzde, su en sonunda kovayla birlikte dönmeye başlayacaktır. Bunun nedeni, kovanın, çeperlerine doğrudan değen su atomlarına (daha net bir ifadeyle, su moleküllerine) güç uygulaması, bu etkinin zamanla kovanın çeperlerinden daha uzakta olan atomlara geçmesi ve en sonunda tüm su kütlesinin kovayla birlikte dönmeye başlayacak olmasıdır. Suyun, kovayla birlikte döneceği duruma geçmesi için, sıvının farklı kısımlarının birbirlerine bağıl bir şekilde hareket etmesi gerektiği açık bir şekilde ortadadır. Ancak az önce

belirttiğimiz gibi, bunu yapmak bir süperakışkan için çok zordur. Ya tüm atomlar birlikte hareket eder ya da hiç hareket etmezler. Dolayısıyla süperakışkan durumunda sıvı helyum doldurduğunuz bir kovayı döndürecek olursanız, sıvı helyum kovayla birlikte dönmeye başlamaz. Kova dönerken gördüğünüz yalnızca, süperakışkan helyumun inatla hareket etmeye direnmesi olacaktır.

Süperakışkan sıvı helyum içindeki atomların bu "anca beraber kanca beraber" tavrı daha da tuhaf bir olaya yol açmaktadır. Örneğin süperakışkanlar, başka hiçbir sıvının geçemeyeceği küçüklükteki deliklerden akıp geçebilir. Aynı zamanda süperakışkanlar, yukarı doğru akabilen tek sıvı türüdür.

Helyumun, ender olarak rastlanan, daha hafif bir kuzeni bulunmaktadır. Ancak zaman içinde helyum-3'ün sıkıcı normal bir sıvı olduğu anlaşılmıştır. Bunun nedeni helyum-3 parçacıklarının fermiyon olmasıdır. Ve süperakışkanlık sadece bozonların bir özelliğidir.

Aslına bakarsanız, bu da tümüyle doğru sayılmaz. Mikroskobik dünya şaşırtıcı olaylarla doludur. Ve özel bir durumda, fermiyonlar bozonlar gibi davranabilir.

Sonsuza Dek Akıp Giden Elektrik Akımları

Fermiyonların bozon gibi davrandığı özel durum, bir metal içindeki elektrik akımında yaşanmaktadır. Metal atomlarının en dış yörüngesinde bulunan elektronlar çok gevşek bir yapıda olduklarından, atomdan kurtularak ayrılabilirler. Metalin uç noktaları arasında bir bataryayla gerilim uygulandığı takdirde, özgürlüğüne kavuşmuş sayısız elektron, metalin içinden akıp geçerek bir elektrik akımı oluşturacaktır.[6]

[6] O halde metal neden paramparça olmuyor? Tam bir açıklama kuantum teorisini zorunlu kılmaktadır. Ancak basite indirge-

Elektron fermiyon sınıfında olduğundan, asosyal bir yapıdadır. Her bir basamağın daha yüksek bir enerji düzeyine tekabül ettiği bir merdiven düşünün. Elektronlar en alttan başlayarak her basamağa ikişer ikişer yerleşir (bozonlar ise memnuniyetle en alt basamaklarda birikecektir). Her bir elektron çifti için ayrı bir basamağın gerekliliği, bir metal içindeki elektronların tahmin edildiğinden çok daha fazla enerjiye sahip olduğunu göstermektedir.

Ancak bir metal mutlak sıfır noktasına (mümkün en düşük sıcaklık, -273,15 derece) inecek kadar soğutulduğunda, gerçekten de tuhaf bir şey meydana gelmektedir. Genelde her bir elektron, metalin içinde, diğer tüm elektronlardan bağımsız bir şekilde hareket eder. Öte yandan sıcaklık düştükçe, metal atomları gittikçe daha cansız bir şekilde titreşir. Bir elektron geçerken, elektronlardan binlerce kat daha fazla kütleli olsalar da, metal atomuyla aralarındaki elektriksel çekim gücü, atomun elektronun peşinden çekilmesi için yeterlidir.[7] Çekilen atom ise bir başka elektronu çeker. Bu yolla, bir elektron diğer bir elektronu, metal atomunun aracılığıyla etkilemiş olur.

Bu etki, metalin içinden geçen akımın doğası üzerinde kökten bir değişikliğe neden olmaktadır. Akım, tek tek elektronlar yerine, "Cooper çiftleri" olarak bilinen elektron çiftlerinden oluşmuştur. Ancak her bir Cooper çifti içindeki elektronların spin yönleri birbirinden farklı olduğu için, birbirlerini sönümlendirirler. Dolayısıyla Cooper çiftleri bozondur!

---

yecek olursak, ayrılmış elektronlar (ya da iletim elektronları), metale nüfuz eden negatif yüklü bir bulut oluşturur. Metali bir arada tutan, bu bulutla, elektronlarından ayrılmış pozitif yüklü metal iyonları arasındaki çekim gücüdür.

7 Bu durumda atomlar, aslında pozitif iyonlardır. Bir diğer ifadeyle, elektronlarını kaybetmiş durumdadırlar.

Cooper çiftini oluşturan elektronlar, metal içinde birbirlerine yakın bile olmayabilir. Cooper çiftinin bir üyesiyle diğeri arasında, binlerce başka elektron bulunabilir. Ancak bu yalnızca tuhaf bir detaydır. Esas nokta, Cooper çiftlerinin bozon olduğudur. Ve süperiletkenin ultra-düşük sıcaklığında, bütün bozonlar aynı durumda toplaşarak mukavemet edilemez tek bir varlık gibi davranırlar. Kitle halinde akmaya başladıkları anda, onları durdurmak hiç de kolay değildir.

Normal bir metalde, elektrik akımına, metalin içine karışmış ametal atomlar tarafından karşı konur; bu atomlar elektronların yoluna çıkarak metal içindeki ilerleyişlerini engeller. Fakat katışık bir atom normal bir atom içindeki elektronu engelleyebilirken, bir süperiletken içindeki Cooper çiftine karşı koyması neredeyse imkânsızdır. Bunun nedeni, her bir Cooper çiftinin, milyarlarca ve milyarlarca benzeriyle uygun adım bir tempo tutturmuş olmasıdır. Bir katışık atom artık bu akışı asla durduramaz. Bir kez başladığı anda, süperiletken içindeki akım sonsuza dek sürecektir.

İKİNCİ KISIM

Büyük Şeyler

7

UZAY VE ZAMANIN ÖLÜMÜ

Işığın, Evrenin Üzerinde Kurulu Olduğu Kaya, Zaman ve Uzayın ise Hareket Halindeki Kum Tanecikleri Olduğunu Nasıl Keşfettik

Bir adam güzel bir kızla oturup bir saat geçirdiğinde, bu süre kendisine bir dakika gibi gelir. Bir de onu, bir dakika için sıcak bir fırının üzerine oturtun; bu süre ona bir saatten daha uzun gelecektir. İşte görelilik budur!
Albert Einstein

Herkes için gelmiş geçmiş en tuhaf 100 metre yarışıydı bu. Atletler çıkış takozlarından fırlayıp kulvarlarında koşmaya başladığında, tribündeki seyircilere sanki incelmiş gibi göründüler. Coşkulu kalabalığın önünden geçerlerken, krep kadar düzleşmişlerdi.

Ancak olan en tuhaf şey bu değildi.

Atletlerin kolları ve bacakları, sanki havanın değil de ağdalı bir sıvının içinde koşuyorlarmış gibi, ultra-yavaş hareketler sergiliyordu. Kalabalığın alkış ve tezahüratları gittikçe yavaşladı. Seyircilerden bazıları biletlerini yırtıp öfkeyle havaya fırlatıyordu.

Bu zavallı tempoyla, atletlerin finiş ipini göğüslemesi bir saati bulabilirdi.

Sonunda canından bezen seyirciler yerlerinden kalkarak, teker teker stadyumu terk etti.

Böyle bir sahne size tümüyle saçma gelmiş olabilir. Fakat burada hatalı olan tek unsur atletlerin hızıdır. Eğer ki 10 milyon kat daha hızlı koşabilselerdi, stadyumdaki herkes yukarıdaki gibi bir sahne yaşardı. Nesneler ultra-yüksek hızlara çıktığında, zaman yavaşlarken uzay da büzülür.[1] Bu durum önemli bir gerçeğin kaçınılmaz bir sonucudur: ışığı yakalamanın imkânsızlığı.

Yakalanamayacak olan tek şeyin ancak sonsuz hızla yol alan bir cisim olabileceğini düşünebilirsiniz. Ne de olsa sonsuzluk, tasavvur edilebilen en büyük sayı olarak tanımlanmaktadır. Hangi sayıyı düşünürseniz düşünün, sonsuzluk ondan daha büyüktür. Bu nedenle, sonsuz hızla yol alabilecek bir şey olsaydı bile onu asla yakalayamayacağımız açık bir şekilde ortadadır. Böyle olsaydı, evrendeki nihai kozmik hız sınırını temsil eden, sonsuz hız olurdu.

---

[1] Her bir koşucu aynı zamanda kendi ekseni etrafında ters dönüyormuş gibi de görüneceğinden, seyirciler koşucuların yüzlerinin diğer tarafını da bir parça seçebilecektir. Normalde görülemeyecek olan, yüzlerinin tribüne dönük olmayan tarafını. Bu taraf etki "görelilik sapması" (*relativistic aberration* ya da *relativistic beaming*) olarak bilinmektedir. Ancak burada, söz konusu etki bu kitabın kapsamının çok ötesinde olduğundan, görelilik sapmasına girmeyeceğiz.

Işık muazzam bir hızla yol alır –boşlukta saniyede 300.000 kilometre– fakat bu hız da, sonsuz olarak nitelendirdiğimiz hızın yanında anlamsız kaçmaktadır. Yine de ne denli hızlı olursanız olun, bir ışık huzmesini yakalayamazsınız. Evrende, kimsenin tam olarak anlamlandıramadığı nedenlerden ötürü, ışık hızı sonsuz hızın yerini almıştır. Fiili durumdaki kozmik hız sınırımız ışık hızıdır.

Bu tuhaf gerçeği fark eden ilk kişi, 16 yaşındayken kendine şu soruyu soran Albert Einstein oldu: Yakalayabilecek olsaydınız, ışık huzmesi nasıl görünürdü?

Einstein'ın böyle bir soru sorarak cevaplandırabilmeyi umması ancak İskoç fizikçi James Clerk Maxwell'in bir keşfi sayesinde mümkün olmuştur. 1868 yılında Maxwell, elektrik motorlarının çalışmasından mıknatısların davranışlarına kadar, bilinen tüm elektrik ve manyetik olaylarını, bir dizi harikulade matematiksel denklemle bir araya getirdi. Maxwell'in denklemlerinin sürprizi ise o güne dek bilinmeyen bir dalganın varlığını öngörüyor olmalarıydı: elektrik ve manyetizma dalgasının.

Uzayda, göletteki küçük bir dalga gibi yayılan Maxwell dalgasının çok çarpıcı bir özelliği olduğu anlaşıldı. Bu dalga saniyede 300.000 kilometre hızla yol alıyordu; yani ışıkla aynı hızda. Bunu yalnızca bir tesadüf saymak imkânsızdı. Maxwell, elektrik ve manyetizma dalgasının bir ışık dalgasından farksız olduğunu düşündü. Maxwell'e dek hiç kimse (belki elektriğin öncülerinden Michael Faraday'ı bir kenara koyabiliriz bu noktada), ışığın elektrik ve manyetizmayla bağlantılı olduğuna dair en ufak fikre sahip değildi. Ancak öyleydi; tam da Maxwell'in denklemlerinde yazdığı gibi: Işık elektromanyetik bir dalgaydı.

Manyetizma, mıknatısın çevresindeki uzayı kaplayan görünmez bir güç alanıdır. Bir mıknatıs çubuğunun man-

yetik alanı, yakınında bulunan metal objeleri kendine çeker. Bir de elektriksel alan vardır; elektrikle yüklü bir kütlenin etrafındaki uzayı sarmış olan, görünmez bir güç alanıdır bu. Örneğin naylon bir süvetere sürtülen plastik bir tarak, küçük kâğıt parçalarını kendisine çekebilir.

Maxwell denklemlerine göre ışık, suda yayılan dalgaları andıracak şekilde, bu görünmez güç alanlarında yayılan bir dalgadır. Su dalgası için konuşacak olursak, dalga geçip giderken değişen unsur suyun düzeyidir – bu düzey artar ve azalır, azalır ve artar. Işıkta ise değişkenlik gösteren unsur manyetik ve elektrik güç alanlarının düzeyidir – güç seviyeleri artar ve azalır (aslında bir alan büyürken diğeri sönümlenir, ancak bunun şu an için bir önemi yok).

Peki ama, elektromanyetik dalganın ne olduğu konusuna neden böylesine girdik? Bunun nedeni, Einstein'ın sorusunu tam olarak anlayabilmemiz için bunun gerekli olması: Yakalayabilecek olsaydınız ışık huzmesi nasıl görünürdü?

Otoyolda ilerlerken, saatte 100 kilometre hızla yol alan bir otomobili yakaladığınızı düşünelim. Yan yana geldiğiniz esnada diğer otomobil nasıl görünecektir? Elbette ki, durağan bir görüntüsü olacaktır. Camınızı açacak olursanız, motor gürültülerinin üzerinden diğer otomobilin şoförüne bağırabilirsiniz bile. Aynı şekilde, bir ışık huzmesini yakalayabilecek olsaydınız, bu huzme durağan bir görüntü kazanırdı; tıpkı gölet üzerinde donup kalmış bir dizi dalga gibi.

Öte yandan (ve 16 yaşındaki Einstein tarafından fark edilen esas nokta da budur), Maxwell denklemlerinin donmuş bir elektromanyetik dalga, bir diğer deyişle, elektrik ve manyetik alanları ne büyüyen ne de sönümlenen, sonsuza dek hareketsiz duran bir dalga üzerine önemli bir çıkarımı bulunuyor: Böyle bir şey yok! Durağan bir elektromanyetik dalga, imkânsızdır.

Einstein böylece yaşına göre çok erken sorulmuş bu önemli sorusuyla, parmağını fiziğin kurallarında önemli bir paradoksun –ya da tutarsızlığın– üzerine koymuş oldu. Bir ışık huzmesini yakalayabilecek olsaydınız, varlığı imkânsız olan durağan bir elektromanyetik dalga görecek olurdunuz. Ve imkânsız şeyleri görmek de imkânsız olduğundan, bunun anlamı hiçbir zaman bir ışık huzmesini yakalayamayacağınızdır! Diğer bir ifadeyle, evrende sonsuz hızın yerini almış olan, asla yakalanamayacak şey, ışıktır.

Göreliliğin Temel Taşları

Işığın yakalanamazlığı başka bir şekilde de ortaya konabilir. Kozmik hız sınırının gerçekten de sonsuzluk olduğunu düşünelim. Ve de, savaş uçağından atılan bir roketin sonsuz hızla yol aldığını varsayalım. Yerden bakan birisi için roketin hızı, sonsuzluk artı uçağın hızı mı olur? Eğer öyleyse, roketin hızı, yere bağlı olarak, sonsuzluktan daha büyük olacaktır. Ancak sonsuzluk tasavvur edebileceğimiz en büyük sayı olduğundan, bu imkânsızdır. Anlamlı olan tek şey, roketin halen sonsuz bir hızı olduğudur. Diğer bir ifadeyle, roketin hızı, kaynağının, yani uçağın hızına bağlı değildir.

Sonsuz hızın rolünü ışık hızının oynadığı evrende de, ışığın hızı, yayıldığı kaynağın hızına bağlı değildir. Işık kaynağı ne denli hızlı yol alıyor olursa olsun, saniyede 300.000 kilometre olan ışık hızı değişmez.

Işık hızının, çıktığı kaynağın hareketinden bağımsızlığı, "mucizevi yılı" olan 1905'te Einstein'ın, uzay ve zamanın devrimsel bir analizini yaptığı "özel" görelilik teorisinin iki önemli dayanak noktasından biridir. Diğer dayanak noktası ise aynı ölçüde önemli olan, görelilik ilkesidir.

17. yüzyılda büyük İtalyan fizikçi Galileo, fizik kurallarının göreli hareketlerden etkilenmediğini fark etti. Diğer bir deyişle, bir başkasına göre ne denli hızlı hareket ederseniz edin, fizik kurallarının aynı kalacağını. Açık bir alanda olduğunuzu ve sizden 10 metre ileride duran arkadaşınıza bir top fırlattığınızı düşünün. Şimdi de hareket halinde bir trende olduğunuzu ve koridorun 10 metre ilerisinde duran arkadaşınıza top fırlattığınızı. Top her iki durumda da siz ve arkadaşınız arasında aynı rotayı izleyecektir. Yani açık bir alanda ya da saatte 120 kilometre hızla yol alan bir trende duruyor olmanız, topun izlediği güzergâhı etkilemez.

Aslında camlarının karartıldığını ve trenin hiçbir titremeye izin vermeyecek kadar kusursuz bir süspansiyon sistemine sahip olduğunu varsayarsak, topun (ya da tren içindeki herhangi bir başka objenin) hareketine bakarak trenin hareket halinde olup olmadığını anlamanızın imkânı yoktur. Kimsenin bilmediği nedenlerden ötürü, ne hızla yol alıyor olursanız olun, hızınız sabit olduğu müddetçe, fizik kuralları aynı kalmaktadır.

Galileo bu gözlemi yaptığında aklında olan fizik kuralları, havada uçan gülleler gibi objelerin rotasını belirleyen temel hareket kanunlarıydı. Einstein'ın cüretkâr atılımı ise bu fikri, ışığın davranışlarını belirleyen optik kurallarını da içeren tüm fizik kurallarını kapsayacak şekilde genişletmek oldu. Einstein'ın görelilik ilkesine göre, birbirlerine göre sabit hızla hareket eden gözlemciler için tüm kurallar aynıdır. Yani camları karartılmış bir trende, ışığın ileri-geri yansımasına bakarak bile trenin hareket halinde olup olmadığını anlayamazsınız.

Görelilik ilkesi ve kaynağının hareketi ne olursa olsun ışık hızının aynı olduğu gerçeği birleştirildiğinde, ışığın diğer bir dikkate değer özelliği ortaya çıkar. Bir ışık kay-

nağına doğru yüksek hızla yol aldığınızı düşünelim. Bu durumda, ışık size doğru hangi hızla gelecektir? Burada aklınızda tutmanız gereken nokta, sizin mi yoksa ışık kaynağının mı hareket halinde olduğunu belirleyebileceğiniz hiçbir deneyin olmamasıdır. O yüzden, sizin durağan olduğunuzu ve ışık kaynağının size doğru yaklaştığını varsaymamızda sorun yok. Fakat ışık hızının, kaynağının hızına bağlı olmadığını biliyoruz – ışık, her zaman için, kaynağından kesin olarak saniyede 300.000 kilometre hızla ayrılır. Dolayısıyla siz durağan olduğunuzda, ışığın size doğru saniyede 300.000 kilometreyle yaklaşıyor olması gerekir.

Bu bağlamda, ışık hızı yalnızca kaynağının hareketinden değil, aynı zamanda ışığı gözlemleyen herhangi bir kişinin hareketinden de bağımsızdır. Yani ne kadar hızlı hareket ediyor olursa olsun evrendeki herkes, her zaman ışığın hızını tam olarak aynı ölçecektir.

Einstein'ın özel görelilik teorisiyle cevaplamak istediği nokta, pratikte herkesin nasıl tam olarak aynı ışık hızını ölçtüğüydü. Bunun yalnızca tek bir yolunun olduğu anlaşıldı. O da, uzay ve zamanın herkesin düşündüğünden tümüyle farklı olmasıydı.

Büzülen Uzay, Esnek Zaman

Uzay ve zaman konusuna neden geldik? Işık dahil olmak üzere her şeyin hızı, belirli bir zaman diliminde katedilen mesafedir. Mesafeler genelde cetvelle, zaman ise saatle ölçülür. Dolayısıyla, "Nasıl oluyor da herkes, hareket durumları ne olursa olsun, aynı ışık hızını ölçebiliyor?" Sorusunu bir başka şekilde ortaya koyabiliriz: İnsanların, belli bir zamanda katettiği mesafeyi ölçtüklerinde, ışığın hızını her zaman tam olarak saniyede 300.000 kilometre bulmaları için, cetvel ve saatlere ne olması gerekiyor?

Evrendeki herkesin ışığın hızı üzerinde hemfikir olabilmesi için, uzay ve zamana ne olması gerektiğine dair bir denklemden bahsediyoruz. İşte, özel görelilik kısaca budur.

Üzerine doğru ışık hızının 0,75 katı hızla gelen bir uzay çöpüne lazerle ateş açan bir uzay gemisi düşünelim. Lazer ışını uzay çöpüne ışık hızının 1,75 katı hızla çarpamaz, çünkü bu imkânsızdır; tam olarak ışık hızında çarpması gerekir. Bunun gerçekleşebilmesinin tek yolu, olayları gözlemleyen ve yaklaşmakta olan ışığın belli bir zamanda katettiği mesafeyi tahmin eden birisinin, mesafeyi olduğundan az ya da zamanı olduğundan fazla saptamasıdır.

Aslında Einstein her ikisinin de olduğunu keşfetmiştir. Uzay gemisini dışarıdan gözlemleyen birisi için, hareket halindeki cetveller büzülür ve hareket halindeki saatler yavaşlar. Yani uzay "büzülür" ve zaman "genişler." Dahası bunu tam olarak, ışık hızının evrendeki herkes tarafından saniyede 300.000 kilometre olarak ölçüleceği şekilde yaparlar. Bu durum dev bir kozmik komployu andırmıyor mu? Evrenimizdeki sabit olan unsur, uzay ya da zamanın akışı değil, ışığın hızıdır. Ve evrendeki her şeyin, kendisini ışığın egemen durumuna göre ayarlamak dışında hiçbir şansı yoktur.

Hem uzay hem de zaman görecelidir. Işık hızına yaklaşan hızlarda mesafeler de zaman aralıkları da ciddi ölçüde bozulmaya uğrar. Bir kişinin uzay aralığı ile bir başkasının uzay aralığı aynı değildir. Aynı şekilde, bir kişinin zaman aralığı ile bir başkasının zaman aralığı da aynı değildir.

Zamanın farklı gözlemciler için farklı hızlarda aktığı anlaşılmıştır. Bu fark, birbirlerine göre ne hızda yol aldıklarına dayanmaktadır. Ve hareket hızlandıkça, saatlerinin tiktakları arasındaki tutarsızlık da artar. Ne kadar

hızlı yol alırsanız, o kadar yavaş yaşlanırsınız![2] Zamanın yavaşlamasının ancak ışık hızına yaklaşan hızlarda anlaşılabilmesi gibi basit bir nedenden ötürü, insanlık tarihinin büyük bir kısmında bu gerçeği fark edemedik. Teknolojimizin izin verdiği en hızlı araçlardan olan süpersonik jetler bile ışık hızının yanında içler acısı bir durumdadır. Işık hızı yalnızca saatte 30 kilometre olsaydı, bu gerçeğin keşfedilmesi için Einstein gibi bir dâhiye ihtiyacımız olmazdı. Bu durumda, zamanın genişlemesi ve mesafelerin kısalması gibi özel görelilik durumları beş yaşındaki bir çocuk için bile apaçık ortada olurdu.

Zaman için geçerli olan, uzay için de geçerlidir. İki kütle arasındaki mesafe farklı gözlemciler için, birbirlerine göre ne hızda yol aldıklarına bağlı olarak değişen farklı sonuçlar verir. Ve hız arttıkça, cetvelleri arasındaki tutarsızlıklar da büyür. "Ne kadar hızlanırsanız, o kadar incelirsiniz," demiştir Einstein.[3] Hayatlarımızı ışık hızına yakın bir hızda yol alarak yaşıyor olsaydık, bu da kendinden menkul bir gerçek olurdu. Ancak doğanın yavaş kulvarında yaşadığımız normal hayatlarımızda, uzay ve zamanın hareket halinde kum tanecikleri ve ışığın değişmeyen hızının da evrenin üzerine kurulu olduğu temel nokta olduğu gerçeğini fark edemeyiz.

(Göreliliğin zor olduğunu düşünüyorsanız, Einstein'ın şu sözleriyle avunabilirsiniz: "Dünyada anlaşılması en

---

[2] Durağan bir gözlemcinin gözünden, hareketli bir gözlemcinin zamanı γ kat daha yavaş akıyor görünecektir; υ, hareket halindeki gözlemcinin ve c ise ışık hızı olduğunda, $\gamma : 1/\sqrt{[1 - (\upsilon^2/c^2)]}$'dir. c'ye yakın hızlarda y değeri çok büyür ve hareket halindeki gözlemci için zaman, neredeyse duracak kadar yavaşlar.

[3] Durağan bir gözlemcinin gözünden, hareketli bir gözlemcinin cetveli γ kat daha küçük görünecektir. υ, hareket halindeki gözlemcinin ve c ise ışığın hızı olduğunda, $\gamma = 1/\sqrt{[1 - (\upsilon^2/c^2)]}$'dir. c'ye yakın hızlarda y değeri çok büyür ve kütle hareket ettiği yönde bir krep daha düzleşir.

zor olan şey gelir vergisidir!" Öte taraftan büyük fizikçiyle 1921 yılında çıktığı gemi seyahatinin ardından İsrail Cumhurbaşkanı Chaim Weizmann'ın söylediklerini ise duymazdan gelmek gerekir: "Einstein tüm seyahatimiz boyunca bana teorisini açıklamayı sürdürdü ve son gün, teoriyi anlamış olduğuna tamamıyla ikna oldum!")

Herhangi bir şey ışıktan daha hızlı yol alabilir mi? Durum şu ki, hiçbir şey bir ışık huzmesini yakalayamaz. Yine de hayatlarını sürekli olarak ışıktan daha hızlı bir hareket halinde geçiren "atomaltı" parçacıklar olması mümkün. Fizikçiler bu türden varsayımsal parçacıkları takyon olarak adlandırıyor. Takyonlar gerçekten varsa, belki de uzak gelecekte vücutlarımızdaki atomları takyonlara çevirmenin bir yolunu bulabilir ve böylece ışıktan daha hızlı hareket edebiliriz.

Fakat takyonlarla bağlantılı problemlerden biri, hareket halindeki gözlemcilerin bakış açısıyla, ışıktan daha hızlı hareket eden bir kütlenin zamanda geriye doğru yol alıyormuş gibi görünebileceğidir!

Şöyle bir dörtlük biliyorum:

Wright adında bir uzay gezgini
Işıktan daha hızlı yol almış bir keresinde
Bir gün seyahate çıkmış, göreli bir şekilde
Ve geri dönmüş bir gece öncesinde

Anonim

Aslında zamanda yolculuk fizikçilerin ödünü patlatıyor, çünkü bu olay, zamanda geriye giderek büyükbabanızı öldürmeniz gibi mantıksal çelişkilere yol açabilecek ciddi paradokslara gebe. Anneniz doğmadan önce büyükbabanızı öldürdüğünüz takdirde, doğmamış olacağınıza göre, nasıl olur da zamanda geriye giderek büyükbaba-

nızı öldürmüş olabilirsiniz? Fakat bazı fizikçiler, henüz keşfedilmemiş bazı fizik kurallarının paradoksal olayların önüne geçebileceğini ve böylece zamanda yolculuğun mümkün olabileceğini düşünmekte.

Göreliliğin Anlamı

Ancak pratik anlamda görelilik ne demek oluyor? Diyelim ki dünyaya en yakın yıldıza ışık hızının yüzde 99,5'i gibi bir hızla gidip gelmenizin mümkün olduğu bir zamanda yaşıyorsunuz. Dünyaya en yakın yıldız olan Alfa Centauri'ye uzaklığımızın 4,3 ışık yılı olduğunu düşünecek olursak, gidip ortalığa bir göz attıktan sonra geri dönmeniz, dünyadaki birine göre 9 yıl sürecektir. Ancak sizin bakış açınızdan, Alfa Centauri'ye olan mesafe görelilik yüzünden 10 kat büzülecektir. Dolayısıyla yapacağınız ring sefer sizin için 11 ay kadar sürer. Yolculuğa çıktığınızda 21 yaşınızda olduğunuzu ve uzay üssünde sizi uğurlarken bıraktığınız bir de ikiz kardeşiniz olduğunu varsayalım. Bu durumda, Alfa Centauri'den geri döndüğünüzde, siz ancak 22 yaşına ulaşmışken, ikiziniz 30'una basmış olur![4]

---

[4] Aslında bu tartışma içinde kolay fark edilemeyecek olan bir hata söz konusu. Hareket göreli olduğundan ötürü, geriye bıraktığınız ikiz kardeşinizin, sizin dünyadan değil, dünyanın sizin uzay mekiğinizden ışık hızının yüzde 99,5'i bir hızla uzaklaştığını düşünmesi gayet makul olur. Ancak bu bakış açısı daha önceki çıkarımımıza zıt bir çıkarıma yol açacaktır. Size göre, zamanın ikiz kardeşiniz için yavaşlayacağı çıkarımına. Fakat zaman her ikiniz için de diğerine kıyasla daha yavaş akamaz. Bilindiği adıyla bu "ikiz paradoksunun" çözümü, yavaşlayıp Alfa Centauri'ye doğru olan hareketini tersine çevirenin sizin uzay mekiğiniz olmasıdır. Bu ters ivme yüzünden, iki farklı bakış açısı (uzay mekiğinizin ya da dünyanın hareket ettiği) aslında gerçekten eşdeğer ve birbirlerinin yerine geçebilir görüşler değildir.

Peki, siz henüz 22'ye basarken 30'una gelmiş ikiziniz bu durumdan nasıl bir anlam çıkarabilir? Seyahatiniz boyunca ağır çekimde yaşadığınızı düşünebilir. Ve gerçekten de uzay mekiğinizin içini gözlemlemesi bir şekilde mümkün olsaydı, sizi bir ağdanın içinde hareket etmeye çalışıyormuş gibi ve mekiğin tüm saatlerini de normalden 10 kat daha yavaş işlerken görebilirdi. Ve bu durumda ikiziniz, yerinde bir akıl yürütmeyle, tüm bu gördüklerini görelilik münasabetiyle zamanın genişlemesine atfedebilirdi. Ancak sizin için, mekiğinizdeki saatler ve panelinizi kaplayan göstergeler gayet normal görünürdü. İşte göreliliğin sihri burada.

Elbette ki, Alfa Centauri'ye ne denli hızlı yol alırsanız, siz ve ikizinizin yaşları arasındaki fark da aynı ölçüde artacaktır. Evrende yeterince hızlı ve yeterince uzağa gittiğiniz takdirde, geri döndüğünüz zaman siz halen genç bir insanken, ikiziniz çoktan gömülmüş olur. Daha da hızlandığınızda, ayrıldığınız dünya da hiçliğe karışmış olabilir. Hatta ışık hızına çıktığınızı düşünecek olursak, zaman sizin için öylesine yavaşlar ki, evrenin geleceğinde tüm olan bitenler sizi ileri sarılmış bir film gibi yalayıp geçer. Rus fizikçi Igor Novikov'un dediği gibi: "Geleceği ziyaret etme olasılığı, bu fikri ilk kez duyan herkese muhteşem gelir."

Bugün için konuşacak olursak, en yakınımızdaki yıldıza, ışık hızına yakın bir hızda (hatta ışık hızının yüzde 0,01'inde bile) gidip gelmemizi sağlayacak bir teknolojiye sahip olmadığımız ortada. Yine de zamanın genişlemesi gündelik dünyamızda algılanabilir bir durum. Örneğin gerçekleştirilen deneylerden birinde, senkronize edilen süper-hassas iki saatten biri bir uçağın içinde dünyanın etrafını dönerken, diğeri olduğu yerde tutuldu. Yeniden yan yana getirildiklerinde ise dünyanın etrafını dönen saatin, laboratuvarda tutulan saate nazaran daha kısa bir zaman

dilimini kaydettiği anlaşıldı. Hareket halindeki saat tarafından daha kısa bir zaman diliminin ölçülmesi ise tam olarak Einstein'ın öngördüğü durumdu.

Zamanın yavaşlaması astronotları da etkileyen bir durum. Harikulade kitabı *Zaman Nehri*'nde (*The River of Time*) Novikov şöyle diyor: "Sovyet Salyut Uzay İstasyonu'nun mürettebatı, saniyede 8 kilometre hızla bir yıl boyunca yörüngede döndükten sonra, 1988 yılında yeniden eve döndüklerinde, yalnızca saniyenin yüzde biri kadar geleceğe adım atmışlardı."

Zamanın genişleme etkisi, teknolojimizin elverdiği uçaklarla uzay araçlarının ışık hızının ancak komik bir yüzdesine çıkabildiği günümüzde bizim için önemsiz bir düzeydedir. Öte yandan uzaydan gelen süper-hızlı atom çekirdekleri olan kozmik ışınlar, dünya atmosferinin tepesindeki hava molekülleriyle çarpıştığında oluşan atomaltı parçacıklar, yani kozmik ışık müonları için durum biraz daha farklı.

Müonlar hakkında bilinmesi gereken temel nokta, trajik derecede kısa bir yaşam süresine sahip olmalarıdır. Ortalama olarak yalnızca saniyenin 1,5 milyonda biri gibi bir zaman dilimi içerisinde yok olur ya da bozunuma uğrarlar. Atmosfere ışık hızının yüzde 99,92'sinden daha yüksek bir hızla girdiklerinden, kendilerini yok etmeden önce ancak 0,5 kilometre yol alırlar. Yeryüzünden 12,5 kilometre yukarıda oluştuklarını düşünecek olursak, katettikleri mesafe çok sayılmaz. Ve elbette tek bir tanesinin bile yeryüzüne ulaşamaması gerekir.

Ancak sanılanın aksine, dünya yüzeyinin her bir metrekaresine, her saniye içinde yüzlerce kozmik ışın müonu çarpmaktadır. Yani bu küçük parçacıklar bir şekilde mümkün olan son sınırlarından 25 kat daha uzağa ulaşabiliyor. Bunun nedeni de elbette görelilik.

Hızlanan bir müonun zaman algısı, dünya yüzeyindeki birisinin zaman algısıyla aynı değildir. Müonun, kendisine ne zaman bozunuma uğrayacağını söyleyen dahili bir çalar saati olduğunu düşünelim. Işık hızının yüzde 99,92'si gibi bir hızda, bu saat 25 kat kadar yavaşlamaktadır; en azından zemindeki bir gözlemcinin algıladığı zamana kıyasla oran budur. Dolayısıyla durağan durumdaki ömürlerinden 25 kat daha fazlasını yaşayarak, yok olmadan önce yeryüzüne erişebilirler. Bir diğer ifadeyle, yeryüzüne inen kozmik ışın müonları mevcudiyetlerini, zamanın genişlemesine borçludur.

Peki, bir müonun bakış açısından yeryüzü nasıl bir yer olarak görünür? Ya da dünyadan ayrılarak mekiğiyle uzaklaşan ikizin veya uçakla bir dünya turu attırılan atom saatinin bakış açısından? Durum şu ki, onların bakış açısından, zaman gayet normal bir şekilde akar. Sonuçta her biri kendilerine göre durağan durumdadır. Mesela müon, görelilik yüzünden zamanın genişliyor olmasına rağmen, aslında yine saniyenin 1,5 milyonda biri gibi bir sürede yok olur. Müonun bakış açısıyla, kendisi sabit durmakta, yeryüzü ise ışık hızının yüzde 99,92'si gibi bir hızla kendisine yaklaşmaktadır. Bu nedenle, katetmesi gereken mesafenin 25 kat büzüldüğünü görür ve bu büzülme de ultrakısa yaşam süresine rağmen yeryüzüne ulaşmasına yeter.

Zaman ve uzay arasındaki kozmik komplo, hangi bakış açısından bakarsanız bakın, devrededir.

Görelilik Neden Var Olmak Zorunda

Işık hızına yaklaşan hızlarda uzay ve zamanın davranışları gerçekten de tuhaflaşır. Ancak bu davranışların kimse için sürpriz olmasına da gerek yok. Her ne kadar doğanın yavaş kulvarındaki gündelik deneyimlerimiz bize, bir kişinin zaman aralığının bir başkasının zaman

aralığı ve bir kişinin uzay aralığının da bir başkasının uzay aralığıyla aynı olduğunu öğretmiş olsa da, aslında bu konudaki inançlarımız oldukça temelsiz varsayımlara dayanmaktadır.

Zamanı ele alalım. Tüm yaşamınızı zamanı tanımlamak için boş yere harcayabilirsiniz. Öte yandan Einstein tek kullanışlı olanın, pratik bir tanım olduğunu fark etti. Zaman aralıklarını saatlerimizle ölçeriz. Dolayısıyla Einstein da, "Zaman, bir saatin ölçtüğü şeydir," demiştir (işte, bazen apaçık ortada olan bir durumu ortaya koymak için dâhi olmak gerekebiliyor).

Eğer herkes iki olay arasında aynı zaman aralığını ölçecek olursa, bunun anlamı herkesin saatinin aynı hızda işlediği olacaktır. Ancak bu hemen hiçbir zaman olmaz. Çalar saatiniz biraz yavaş çalışırken, kol saatiniz biraz hızlı olabilir. Günümüzde, saatlerimizi arada bir ayarlayarak gündelik problemlerin üstesinden gelmeye çalışıyoruz. Örneğin birine saatin kaç olduğunu soruyor ve saatimizi ayarlıyoruz. Ya da BBC'de her saat başı gelen bip'leri bekliyoruz. Ancak bu bip'leri kullanırken varsaydığımız nokta, BBC stüdyosundan gönderilen bip'lerin radyomuza ulaşmasının hiç zaman almadığı. Radyoda spikerin saatin altı olduğunu söylediğini duyduğumuzda, basit bir şekilde saatin altı olduğunu kabul ediyoruz.

Gönderimi hiç zaman almayan bir sinyalin sonsuz hızla yol alması gerekir. Hiç zamanın geçmemesi ve sonsuz hızla yol alma tümüyle eşdeğerdir. Fakat evrenimizde sonsuz hızla yol alabilen hiçbir şey olmadığını da biliyoruz. Aslında çıplak gözle görülemeyen bir ışık türü olan radyo dalgalarının hızı öylesine yüksektir ki, vericiyle aramızdaki iletişimde herhangi bir gecikme fark etmeyiz. Radyo dalgalarının mesafeleri sonsuz bir hızla katettiğine yönelik düşüncemiz, her ne kadar yanlış olsa da, şart-

lar göz önüne alındığında o kadar da kötü bir varsayım sayılmaz. Peki ama, vericiyle aramızdaki mesafe artarsa ne olur? Diyelim ki, verici Mars'taysa?

Dünyaya en yakın olduğu noktada, Mars'tan gönderilen bir sinyalin bize ulaşması beş dakika alır. Mars radyosundan bir spikeri saatin altı olduğunu söylerken yakalar ve saatimizi altıya ayarlarsak, bu yanlış olacaktır. Yapmamız gereken sinyalin gönderim süresini hesaba katmak ve saatimizi 6:05'e ayarlamaktır.

Elbette burada her şeyin dayandığı nokta, Mars'tan gönderilen sinyalin ulaşma süresinin bilgimiz dahilinde olmasıdır. Pratikte bu süreyi, dünyadan Mars'a bir sinyal gönderip yankısını dinleyerek çıkarabiliriz. Sinyalimizin bize geri dönmesi 10 dakika aldığında, aramızdaki iletim süresinin de beş dakika olduğunu anlarız.

Bu bağlamda, sonsuz hızlı iletim yollarından yoksun olmamız, saatlerimizi senkronize etmede bir sorun yaratmaz. Işık sinyallerini ileri-geri göndererek ve gecikmeleri hesaplayarak bu yapılabilir. Buradaki sorun, bu yöntemin ancak herkes sabit olduğunda işe yarayacak olması. Ancak evrendeki her bir kişi diğer herkese göre hareket halindedir ve de hareket halindeki gözlemciler arasında ışık sinyalleri göndermeye başladığınız anda, ışık hızının değişmezliği ciddi bir karmaşaya neden olur.

Öncelikle, dünya ve Mars arasında bir uzay mekiği olduğunu ve bu mekiğin, dünya ve Mars'ın durağan görünmesine neden olacak kadar hızlı yol aldığını düşünelim. Ve az önce olduğu gibi, bir kez daha Mars'a bir radyo sinyali gönderdiğinizi ve Mars'a çarpan bu sinyali tekrar dünya üzerinde aldığınızı varsayalım. Sinyalin gel-git seferi 10 dakika süreceğinden, sinyalin Mars'a vardığını ancak beş dakika sonra anlarsınız. Bir kez daha, Mars'tan saatin altı olduğunu söyleyen bir sinyal aldığınızda, yaşanan gecikmeyi hesaba katarak saatin 6:05 olduğunu çıkarırsınız.

Şimdi de, siz dünya üzerinden sinyali gönderdiğiniz anda, tam gaz Mars'a doğru yola çıkmış olan uzay mekiği için duruma bakalım. Mekikteki bir gözlemci radyo sinyalinin Mars'a vardığını ne zaman görür?

Gözlemcinin bakış açısıyla Mars yaklaşmakta olduğundan, radyo sinyalinin katetmesi gereken mesafe daha kısadır. Ancak sinyalin hızı sizin için de, mekikteki gözlemci için de aynıdır. Sonuçta, ışığın karakteristik özelliklerinden en temel olanı herkes için aynı hıza sahip olmasıdır.

Hızın, bir objenin belli bir zamanda katettiği mesafe olduğunu anımsayın. Bu nedenle, uzay mekiğindeki gözlemci radyo sinyalinin daha kısa bir mesafe katettiğini görmesine rağmen halen aynı hızda olduğunu ölçüyorsa, gözlemcinin daha kısa bir zaman ölçmesi gerekir. Diğer bir ifadeyle, gözlemci, sinyalin Mars'a ulaştığını size nazaran daha önce anlayacaktır. Gözlemci için, Mars'taki saatler daha yavaş işlemektedir. Eğer gözlemci Mars'tan saatin altı olduğunu söyleyen bir zaman sinyali alırsa, daha kısa süreli bir gecikmeyi hesaba katması gerekir. Diyelim ki, sizin 6:05 olarak bir sonuca varmanızdan ziyade, o saatin 6:03 olduğu sonucuna varacaktır.

Birbirlerine göre hareket halinde olan iki gözlemci, uzaktaki bir olay için asla aynı zamanı tayin edemez. Saatleri her zaman farklı hızlarda işleyecektir. Dahası, bu fark temel bir kaidedir de. Saatleri ayarlamada ne kadar ilerleme kaydedilirse kaydedilsin, bu değişmeyecek bir durumdur.

Uzay-Zamanın Gölgeleri

Zamanın yavaşlaması ve uzayın büzülmesi, hareket durumları ne olursa olsun evrendeki herkesin ışık hızını aynı ölçmesi için ödenen bedeldir. Ancak bu yalnızca başlangıç.

Diyelim ki, iki yıldız ve bu iki yıldızın arasındaki boşlukta –tam orta noktada– asılı duran bir astronot var. Astronotun, iki yıldızın aynı anda patlamasına tanık olduğunu düşünelim. Yani her iki tarafında da kör edici bir ışık çakması olduğunu. Şimdi de iki yıldızı birbirine bağlayan hat üzerinde muazzam bir hızla ilerleyen bir uzay mekiği olduğunu ve mekiğin, astronotun yanından, yıldızların patladığını gördüğü anda geçtiğini düşünelim. Peki bu durumda uzay mekiğinin pilotu ne görür?

Mekik bir yıldıza doğru ilerlerken diğer yıldızdan uzaklaşacağından ötürü, yaklaşmakta olduğu yıldızdan gelen ışık, uzaklaşmakta olduğu yıldızdan gelen ışıktan daha önce kendisine ulaşır. Dolayısıyla da, iki patlama aynı anda gerçekleşmemiş gibi görünür. Bu bağlamda, eşzamanlılık kavramı da ışık hızının değişmezliğinin gazabına uğramaktadır. Bir gözlemci için eşzamanlı olan bir olay, hareket halindeki bir başka gözlemci için eşzamanlı değildir.

Buradaki önemli nokta, patlayan yıldızların birbirlerinden bir uzay aralığıyla ayrılmış olmasıdır. Bir kişinin yalnızca uzayla ayrılmış bir şekilde gördüğü olayları, bir diğer kişi hem uzay hem de zamanla ayrılmış olarak görmektedir.

Herkesin aynı ışık hızını ölçmesi, yalnızca yanınızdan yüksek bir hızla geçen birisi için zamanın yavaşlarken uzayın büzülmesi değil, uzaylarının bir kısmının size zaman, zamanlarının bir kısmının ise uzay olarak görünecek olması anlamına da gelir. Bir kişinin uzay aralığı, bir başkasının uzay ve zaman aralığıdır ve de, bir kişinin zaman aralığı, bir başkasının zaman ve uzay aralığı. Zaman ve uzayın birbirlerinin yerine bu şekilde geçebiliyor olması gerçeği, bize uzay ve zaman hakkında dikkate değer bir bilgi veriyor. Temelde aynı şey ya da en azından bir madalyonun iki yüzü olduklarını.

Bu gerçeği ilk kez (hatta Einstein'dan bile daha açık bir şekilde) fark eden kişi, Einstein'ın eski matematik profesörü Hermann Minkowski'dir. Minkowski öğrencisi Einstein'a, hayatta hiçbir yere gelemeyecek "miskin bir köpek" demesiyle ünlüdür (elbette daha sonra bu sözlerini yemek zorunda kaldı). Minkowski, "Şu andan itibaren, uzay ve zaman gölgelere karışacak ve bir tür bileşimleri mevcudiyetini sürdürecek," demiştir.

Minkowski uzay ve zamanın oluşturduğu bu tuhaf bileşimi "uzay-zaman" adıyla tanımladı. Yaşamlarımızı ışık hızına yakın bir hızda sürdürüyor olsaydık, uzay-zamanın mevcudiyeti gün gibi ortada olurdu. Ancak doğanın yavaş kulvarında, uzay ve zamanı tek bir mevcudiyet olarak asla deneyimleyemeyiz. Gördüğümüz yalnızca bu bileşimin uzay ve zaman yüzleridir.

Minkowski'nin ortaya koyduğu şekliyle, uzay ve zaman, uzay-zamanın gölgeleri gibidir. Bir odanın tavanında asılı duran ve kendi etrafında dönerek bir pusula iğnesi gibi herhangi bir yönü gösteren bir çubuk düşünün. Parlak bir ışık, çubuğun gölgesini bir duvara düşürürken, bir başka parlak ışığın ise çubuğun gölgesini bitişikteki duvara düşürdüğünü varsayalım. Bu durumda, isteseydik, çubuğun bir duvardaki gölgesinin boyutuna "uzunluğu" ve diğer duvardaki gölgesinin boyutuna ise "genişliği" diyebilirdik. Peki o zaman, çubuk kendi etrafında dönmeye başladığında ne olurdu?

Duvarlardaki gölgelerin boyutları değişirdi. Uzunluk küçülürken, genişlik artardı ya da tam tersi olurdu. Aslına bakılacak olursa, uzunluk genişliğe, genişlik ise uzunluğa dönüşürdü; sanki aynı şeyin farklı yüzleriymiş gibi.

Elbette aslında bunlar aynı şeyin farklı yüzleridir. Uzunluk ve genişlik hiç de temel unsurlar değildir. Yalnızca, çubuğu gözlemlemeyi tercih ettiğimiz yönün yapay

sonuçlarıdır. Temel olan, duvarlardaki gölgeleri yok sayarak odanın ortasına geldiğimizde görebileceğimiz, çubuğun kendisidir.

Durum şu ki, uzay ve zaman, çubuğun uzunluk ve genişliğine benzetilebilir. Temel unsurlar değil, bakış açımıza (daha da net bir şekilde ne denli hızlı hareket ettiğimize) göre değişen yapay durumlardır. Ancak temel unsur uzay-zaman olsa da, bu unsur ancak ışık hızına yakın bir hızla yol aldığımızda fark edilebilir. Zaten gündelik yaşantımızda görünmemesinin nedeni de budur.

Çubuk ve gölge analojisi, elbette diğer tüm analojiler gibi ancak bir noktaya dek kullanışlı olabiliyor. Çubuğun uzunluk ve genişliği tümüyle eşdeğerken, bu durum uzay-zamanın uzay ve zaman yüzleri için geçerli değildir. Uzayda dilediğiniz yönde hareket edebilmenize rağmen, herkesin bildiği gibi, zaman içinde yalnızca tek bir yönde hareket edebilirsiniz.

Uzay-zamanın sağlam bir gerçeklik; ayrı kavramlar olarak uzay ve zamanın ise yalnızca gölge olması gerçeği genel bir noktayı ortaya koyuyor. Batan bir gemiden kurtulan denizcilerin azgın bir denizde kayalara tutunmaya çalışması gibi, dünyamızdan bir anlam çıkarabilmek için "değişmeyen" şeylere yönelik arayışımızı uzun zamandır sürdürüyoruz. Mesafe, zaman, kütle gibi ölçülerle dünyamızı tanımlamaya çalışıyoruz. Ancak birdenbire, değişmez diyerek tanımladığımız şeylerin ancak bizim sınırlı bakış açımla değişmez olduğunu keşfediyoruz. Bakış açımızı biraz genişlettiğimizde ise daha öncesinde hiç şüphelenmediğimiz şeylerin, aslında değişmeyen şeyler olduğunu. Aynı durum uzay ve zaman için de geçerli. Dünyaya yüksek hıza sahip bir noktadan baktığımızda, uzayı ya da zamanı değil, uzay-zamanın kusursuz mevcudiyetini görürürüz.

Aslında uzay ve zamanın ayrılmaz bir şekilde birbirlerine dolanmış olduğunu çok daha uzun zaman önce anlamamız gerekirdi. Ayı ele alalım. Tam şu anda, nasıl bir durumda? Bunun cevabını asla bilemeyiz. Bilebileceğimiz ancak 1,25 saniye önce nasıl olduğudur. Aydan dünyamıza gelen ışığın 400.000 kilometre mesafeyi aşması için gerekli olan süredir bu. Şimdi de güneşi düşünelim. Onun da şu anda ne durumda olduğunu bilmemize imkân yok; ancak 8,5 dakika önceki durumunu bilebiliriz. Beterin beteri var! En yakınımızdaki yıldız sistemi Alfa Centauri'ye ait şu anda elimize geçen bir bilgi, aslında 4,3 yıl öncesine aittir.

Bahsettiğim şey şu ki, teleskoplarımızdan gördüğümüz evrenin şu anda var olduğunu düşünmek hatalı bir bakış açısıdır. Baktığımız an içinde evrenin nasıl olduğunu asla bilemeyeceğiz. Uzayda ne kadar uzağa bakacak olursak, zamanda da o kadar geriye bakıyoruz demektir. Bakışlarımızı uzayın içlerinde yeterince uzaklara çevirdiğimizde, zamanın 13,7 milyar yıl öncesine giderek Büyük Patlama'yı bile görebiliriz. Uzay ve zaman ayrılmaz bir şekilde birbirlerine dolanmış durumdadır. "Orada" gördüğümüz evren, uzay değil, uzay-zaman boyunca uzanan başka bir şeydir.

Uzay ve zamanın ayrı şeyler olduğunu düşünerek aldanmamızın nedeni, ışığın insani mesafeleri katetmek için çok az bir zaman harcaması ve gecikmeleri fark etmemizin zorluğudur. Birisiyle konuşurken, aslında o kişinin, saniyenin milyarda biri kadar geçmişteki bir görünütüsüyle konuşursunuz. Ancak bu zaman aralığı, insan beyni tarafından algılanabilecek herhangi bir olaydan 10 milyon kat daha kısa olduğundan, asla fark edilemez. Etrafımızda algıladığımız her şeyin o an içinde (yani "şimdi") var olduğunu düşünmemiz şaşırtıcı değildir. Ancak "şimdi" kurmaca bir kavramdır. Bu durum, ışığın katet-

mesinin milyonlarca yıl alacağı kadar büyük mesafelerin geçerli olduğu daha geniş bir evren parçasını düşündüğümüz anda, apaçık ortada olacaktır.

Evrenin uzay-zamanı geniş bir harita olarak düşünülebilir. Büyük Patlama'yla evrenin oluşumundan, dünya üzerinde belli bir zaman ve yerdeki doğumunuza dek tüm olaylar bu harita üzerinde serili durumdadır ve her birinin kendine ait bir uzay-zaman konumu vardır. Harita benzetmesinin yerinde olmasının nedeni, uzayın diğer yüzü olan zamanın, ilave bir uzamsal boyut olarak düşünülebileceğidir. Ancak yine de harita benzetmesinde bir sorun söz konusu. Eğer her şey harita üzerinde serili durumdaysa, neredeyse kaderci bir yaklaşımla, geçmiş, şimdi ve gelecek kavramlarının bu resimde yeri olmadığını düşünebiliriz. Einstein'ın işaret ettiği gibi: "Biz fizikçiler için, geçmiş, şimdi ve gelecek arasındaki ayrım yanılsamadan başka bir şey değildir."

Yine de bunun oldukça etkili bir yanılsama olduğunu kabul etmeliyiz. Bununla birlikte, geçmiş, şimdi ve gelecek kavramlarının, gerçekliğe dair yaptığımız en temel çıkarımlardan biri olan özel görelilik dahilinde hiçbir anlamının olmadığı da ortada. Aslında doğanın bu kavramlara hiç ihtiyacı yokmuş gibi görünüyor. Biz insanların neden böylesine ihtiyaç duyduğu ise henüz çözemediğimiz en ciddi muammalardan birisi.

$E=mc^2$ ve Devamı

Özel görelilik teorisi, uzay ve zamana dair fikirlerimizi bütünüyle değiştirmekten fazlasını yaparak, birçok başka konuyu da gündeme getirdi. Bunun nedeni, fizikteki tüm temel niceliklerinin uzay ve zaman üzerine kurulu olmasıydı. Eğer ki, göreliliğin bize gösterdiği gibi, uzay ve zaman böylesine akışkan bir durumdaysa (bir diğer ifadey-

le, ışık hızına yaklaşıldıkça birbirlerine karışıyorlarsa), o halde diğer şeyler için de aynısı geçerli demektir. Örneğin momentum ve enerji, elektrik alanları ve manyetik alanlar gibi. Uzay-zamanın kusursuz ortamında birbirlerine karışan uzay ve zaman gibi, ışık hızının değişmezliğinin korunması için diğer kavramlar da birbirlerine ayrılmaz bir şekilde bağlıdır.

Örneğin elektrik ve manyetizma. Tıpkı bir kişinin uzayının bir başkasının zamanı olması gibi, bir kişinin manyetik alanı da bir diğer kişinin elektrik alanıdır. Elektrik ve manyetik alanları, elektrik akımlarını sağlayan jeneratörler ve elektrik akımlarını harekete çeviren motorlar açısından kati bir önem ifade eder. Fizikçi Leigh Page 1940'larda şöyle yazmıştır: "İçinde bulunduğumuz elektrik çağında her bir jeneratör ve motorun dönmekte olan bobinleri, duymak isteyen herkes için görelilik teorisinin gerçekliğini bağırıyor." Yavaş-çekim bir dünyada yaşadığımızdan dolayı, elektrik ve manyetik alanların ayrı mevcudiyetlere sahip olduğunu düşünme yanılgısı içindeyiz. Ancak tıpkı uzay ve zaman gibi, elektrik ve manyetik alanlar da aynı madalyonun farklı yüzleridir. Gerçekte var olan tek bir mevcudiyet söz konusu: elektromanyetik alanlar.

Bir madalyonun iki yüzü durumunda olan diğer unsurlar ise enerji ve momentumdur.[5] Bu şaşırtıcı bağlantının içinde ise göreliliğin belki de en büyük sürprizi yatmaktadır: kütlenin bir enerji türü olduğu. Bu keşif bilim tarihinin en ünlü ve en az anlaşılan denklemiyle özetlenmiştir: $E=mc^2$.

[5] Bir kütlenin momentumu, bu kütleyi durdurmak için ne kadar güç gerektiğinin ölçütüdür. Örneğin saatte ancak birkaç kilometre hızla yol alan bir petrol tankerini durdurmak, saatte 200 kilometreyle yol alan bir Formula 1 aracına kıyasla çok daha zordur. Petrol tankerinin daha çok momentumu olduğunu söyleriz.

8

E=mc² VE GÜNEŞ IŞIĞININ AĞIRLIĞI

Sıradan Bir Maddenin Dinamitten Bir Milyon Kat Daha Yıkıcı Güce Sahip Olduğunu Nasıl Keşfettik

Fotonların kütlesi mi var?
Katolik olduklarını bile bilmiyordum![1]
Woody Allen

Akla gelebilecek en büyük tartıydı bu. Ah, evet, aynı zamanda ısıya karşı da dayanıklıydı. Aslında bu tartı o kadar büyüktü ki, bir yıldızın ağırlığını bile taşıyabilirdi. Ve o gün, en yakınımızdaki yıldızı, güneşi tartıyordu. Dijital panel en sonunda sabitlendiğinde, 2 x 1027 tonu

[1] *Mass* kelimesi "kütle" anlamının yanında, Katoliklerin ekmek ve şarapla yaptıkları Aşai Rabbani ayininin de adıdır –çn.

gösterdi. Yani 2'yi takip eden 27 tane sıfır – 2000 milyon milyon milyon milyon ton! Ancak o da ne, yanlış olan bir şey vardı. Tartının ölçüleri aşırı hassastı. Boyutu ve ısıya karşı dayanıklılığının yanında, bir başka çarpıcı özelliği de buydu. Ancak bir saniye sonra paneldeki rakamlar yeniden sabitlendiğinde, bir önceki değere göre, güneşin ağırlığı 4 milyon ton daha düşük çıktı. Neler oluyordu böyle? Gerçekten, güneş her bir saniye içinde, üzerinden bir süper-tankerin ağırlığını atacak kadar hafifliyor olabilir miydi?

Evet, bu doğru! Güneş, sürekli olarak ısı enerjisi kaybediyor ve uzaya saçılan bu enerji bize ışık olarak ulaşıyor. Ve enerjinin gerçekten de bir ağırlığı var.[2] Böylece güneş dışarı ne kadar ışık verirse, aynı ölçüde hafifliyor. Fakat güneşin gerçekten de devasa olduğunu ve her bir saniye içinde kütlesinin yalnızca 10 milyon milyon milyonda birini kaybettiğini de aklımızdan çıkarmayalım. Bunun anlamı, doğumundan bu yana kütlesinin ancak binde birini kaybettiğidir.

Enerjinin bir ağırlığı olduğu gerçeği, bir kuyrukluyıldızın davranışında açık şekilde görülebilir. Bir kuyrukluyıldızın kuyruğu her zaman güneşi gösterir; tıpkı bir rüzgâr tulumunun havada oluşmakta olan fırtınayı göstermesi gibi.[3] Peki bu ikisi arasındaki ortak nokta ne ola-

---

[2] Burada ağırlık kelimesini, gündelik hayatımızda kütleye eşanlamlı olarak kullandığımız şekliyle kullanıyorum. Net olmak gerekirse, ağırlık, kütleçekim kuvvetine denktir.

[3] Kuyrukluyıldız gezegenlerarası dev bir kartopu olarak düşünülebilir. Bunlardan milyarlarcasının, en dış gezegenin ötesindeki aşırı soğuk bölgelerde, yörüngelerinden döndüklerine inanılıyor. Bazen bu kuyrukluyıldızlardan biri, yakınından geçmekte olan bir yıldız tarafından itelenir ve güneşe doğru düşmeye başlar. Düşüş ilerledikçe ısınan kuyrukluyıldızın yüzeyi kırılır, eğrilir, en sonunda da, uzun, parıldayan bir gaz kuyruğu oluşturacak şekilde erir.

bilir? Her ikisi de güçlü bir rüzgâr tarafından itilmektedir. Rüzgâr tulumu için konuşacak olursak, bu, havadan oluşan rüzgârdır. Kuyrukluyıldızın kuyruğu içinse, güneşten gelmekte olan ışık rüzgârı.

Rüzgâr tulumu trilyonlarca hava molekülünün saldırısına uğrar. Kumaşı iten ve şişerek dışarı doğru dalgalanmasını sağlayan durmak bilmeyen bu bombardımandır. Uzayın derinliklerindeki hikâye de buna benzer. Kuyrukluyıldızın kuyruğu sayısız ışık parçacığı tarafından itilir. Kuyrukluyıldızların uzay boşluğunda on milyonlarca kilometre boyunca parıldayarak yol almasını sağlayan da, fotonların makineli tüfek bombardımanından başka bir şey değildir.[4]

Fakat hava molekülleri tarafından itilen rüzgâr tulumu ile fotonların saldırısına uğrayan kuyrukluyıldızın kuyruğu arasında önemli bir fark var. Hava molekülleri maddenin katı zerrecikleridir. Rüzgâr tulumuna küçük mermiler gibi çarpmaları, tulumun geri tepmesine neden olur. Ancak fotonlar katı maddeler değildir. Kütleleri yoktur. Peki o zaman, kütlesi olan hava molekülleriyle aynı etkiyi nasıl sağlayabiliyorlar?

Fotonların kesinlikle sahip olduğu bir şey varsa, o da enerjidir.[5] Bir yaz günü plajda güneşlenirken, güneş ışınlarının teninize yaydığı ısıyı düşünün. Kaçınılmaz olarak ulaşacağımız sonuç, gerçekten de enerjinin belli bir ağırlığının olduğudur. Konuyu biraz açalım.

---

4 Aslına bakılacak olursa, bir kuyrukluyıldızın kuyruğu, hem güneşten gelen ışık hem de güneş rüzgârlarıyla (Güneşten çıkan ve çoğunlukla hidrojen çekirdekleri gibi atomaltı parçacıkların oluşturduğu, saatte bir milyon mil hızla ilerleyen fırtınalar) itilmektedir.

5 Net olmak gerekirse, fotonların sahip olduğu şey momentumdur. Diğer bir ifadeyle, onları durdurmak çaba gerektirir. Kuyrukluyıldız bu çabayı göstererek kendini geriye iter.

Bu durum, ışığın ele geçirilemezliğinin doğrudan bir sonucudur. Işık hızı erişimimizin ötesinde olduğundan, ne denli sert bir şekilde itilirse itilsin, hiçbir kütle ışık hızına ulaşacak kadar hızlanamaz. Işık hızının evrenimizdeki sonsuz hızı temsil ettiğini anımsayın. Bir kütleyi sonsuz hıza çıkarmak için sınırsız miktarda enerjinin gerekmesi gibi, bir kütleyi ışık hızına çıkarmak için de aynı şey gerekli olacaktır: sınırsız enerji. Bir başka noktadan bakacak olursak, ışık hızına çıkılmasının imkânsızlığı, bunu başarmak için evrenin içerdiğinden daha fazla enerjiye gereksinim duymamızdan kaynaklanmaktadır.

Peki ama, bir kütleyi ışık hızına yaklaştıracak kadar itseydiniz ne olurdu? Son hız ulaşılamaz olduğundan, son hıza yaklaştırdıkça, kütlenin itilmesinin daha da zorlaşması gerekirdi.

Bir şeyin itilmesinin zor olması, büyük bir kütlesi olduğu anlamına gelir. Aslına bakılacak olursa, bir cismin kütlesi bu özellikle tanımlanır; itilmesinin ne denli zor olduğuyla. Yerinden kımıldatmanın zor olduğu, ağzına kadar dolu bir buzdolabının büyük bir kütlesi, rahatlıkla hareket ettirilebilecek bir tost makinesinin ise küçük bir kütlesi olduğunu söyleriz. Bu bağlamda, bir cismin itilmesi, söz konusu cisim ışık hızına yaklaştıkça zorlaşıyorsa, bunun anlamı cismin kütlesinin arttığıdır. Aslında bir madde ışık hızına çıkabilecek olsaydı, sonsuz bir kütleye ulaşması gerekirdi. Diğer bir deyişle, ivmelenmesi için sonsuz miktarda enerji gerekirdi. Bütün bunlar elbette imkânsız.

Enerjinin ne yaratılabileceği ne de yok edilebileceği, yalnızca bir görünümden diğerine geçtiği doğanın temel kanunlarından biridir. Örneğin elektrik enerjisi bir ampulün içerisinde ışık enerjisine, ses enerjisi bir mikrofon içinde diyaframın hareket enerjisine dönüşür. O halde, ışık hızına yakın bir hızda yol alan bir cismi itmek için

kullanılan enerjiye ne olmaktadır? Halihazırda ışık hızına yakın bir hızda seyreden bir cisim zaten son hız sınırına dayandığından, enerjinin cismin hızını arttırmak için kullanıldığını söyleyemeyiz.

Daha da sert bir şekilde itildikçe artan tek şey, cismin kütlesidir. O zaman enerjinin tümünün gittiği yer de bu olmalı. Fakat enerjinin yalnızca bir türden diğer bir türe dönüştürülebileceğini anımsayın. Kaçınılmaz ve Einstein tarafından keşfedilmiş olan sonuç, kütlenin kendisinin de bir *enerji türü* olduğudur. Bir madde yığınının kütlesi (m) içine hapsolmuş enerjinin denklemi, bilim tarihinin en ünlü denkleminde verilmiştir: $E=mc^2$. Denklemde c ışık hızını temsil eder.

Enerji ve kütle arasındaki bağlantı, Einstein'ın özel görelilik teorisinin tüm çıkarımları içinde belki de en dikkate değer olanıdır. Uzay ve zaman arasındaki bağlantı gibi, bu da çift taraflı bir durum. Yalnızca kütle bir enerji türü değildir; aynı zamanda enerji de etkin bir kütle sahibidir.

Kaba bir şekilde ortaya koyacak olursak, *enerjinin bir ağırlığı vardır.*

Ses, ışık ya da elektrik; düşünebileceğiniz tüm enerji türlerinin bir ağırlığı vardır. Bir fincan kahveyi ısıttığınızda, yüklediğiniz şey ısı enerjisidir. Ve ısı enerjisinin bir ağırlığı vardır. Dolayısıyla sıcak bir fincan kahve, soğuk haline kıyasla çok az daha ağırdır. Buradaki önemli sözcük, "çok az." Çünkü ağırlıkta oluşan bu farklılık ölçülemeyecek derecede küçüktür. Aslında enerjinin bir ağırlığının olduğu gerçeği açık olmaktan öylesine uzaktır ki, bunu ilk kez Einstein gibi bir dehanın keşfetmesi kimseye şaşırtıcı gelmemeli. Yine de en azından bir enerji türü (Güneş ışığı enerjisi), bir kuyrukluyıldızla etkileşime girdiğinde kütlesini açığa çıkarıyor.

Işık bir kuyrukluyıldızın kuyruğunu itebilir, çünkü ışık enerjisinin bir ağırlığı vardır. Fotonların ise sahip oldukları enerjiden ötürü, etkin bir kütleleri vardır.

Diğer bir tanıdık enerji türü de, hareket enerjisi. Hızla gitmekte olan bir bisikletçinin yoluna çıkacak olursanız, hareket enerjisine dair hiç şüphenizin kalmayacağına sizi temin edebilirim. Diğer tüm enerji türleri gibi, hareket enerjisinin de elbette bir ağırlığı var. Örneğin koşarken, yürüdüğünüz zamana kıyasla biraz daha ağırlık kazanırsınız.

Güneş ışığının saçtığı fotonların neden bir kuyrukluyıldızın kuyruğunu itebildiğini açıklayan şey, hareket enerjisidir. Bu noktada bir açıklamaya gereksinim olduğunu söyleyebiliriz, çünkü fotonların gerçekte *içkin bir kütleleri* yoktur. Eğer kütleleri olsaydı, kütle sahibi hiçbir cismin erişemeyeceği ışık hızında yol almaları imkânsız olurdu. Işığın sahip olduğu şey hareket enerjisi nedeniyle sahip olduğu etkin bir kütledir.

Hareket enerjisinin mevcudiyeti, aynı zamanda, bir fincan sıcak kahvenin, soğuk olduğu ana kıyasla neden daha ağır olduğunu da açıklar. Isı, mikroskobik düzeyde bir harekettir. Sıvı ya da katı madde içindeki atomlar sadece titreşirken, bir gaz içindeki atomlar ise şuraya buraya doğru uçuşur. Sıcak bir fincan kahve içindeki atomlar, soğuk bir fincan içindeki atomlara nazaran daha hızlı bir hareket içinde olduklarından dolayı, daha fazla hareket enerjisine sahip olurlar. Dolayısıyla da, sıcak bir fincan kahve daha ağırdır.

Şapkadan Çıkan Tavşan

Eşdeğer bir kütlesi (veya ağırlığı) olan enerji üzerine yeterince konuştuk. Kütlenin bir enerji türü olduğu gerçeğinin daha derin sonuçları da var. Bir enerji türü bir baş-

ka enerji türüne çevrilebileceğinden, kütle enerjisi başka türlerdeki enerjilere ve tam tersi şekilde, diğer enerji türleri de kütle enerjisine çevrilebilir.

İkinci süreci ele alalım. Bir enerji türünden kütle enerjisi oluşturulabiliyorsa, herhangi bir kütlenin var olmadığı bir yerde, birdenbire kütle oluşabilir demektir. Dev parçacık hızlandırıcılarda olan şey tam olarak bu. Örneğin Cenevre'deki nükleer araştırma merkezi CERN'de, atomların yapı taşları olan atomaltı parçacıklar yeraltındaki bir alanda, ışık hızına yaklaşan hızlarda birbirleriyle çarpıştırılıyor. Bu şiddetli çarpışmada amaç, parçacıkların muazzam düzeydeki hareket enerjisinin kütle enerjisine (bir diğer ifadeyle, fizikçilerin üzerinde çalışmak istediği yeni parçacıkların kütlesine) dönüştürülmesi. Ve çarpışma noktasında, bu yeni parçacıklar (göründüğü kadarıyla) yoktan var oluyor – tıpkı şapkadan çıkan tavşanlar gibi.

Bu olay, bir enerji türünün kütle enerjisine çevrilmesine verilebilecek iyi bir örnek. Peki ama, diğer enerji türlerine dönüşen kütle enerjisi hakkında ne söyleyebiliriz? Böyle bir şey oluyor mu? Evet, hem de her zaman.

Dinamitten Bir Milyon Kat Daha Yıkıcı Bir Güç

Yanmakta olan bir parça kömür düşünün. Kömürün dışa vermekte olduğu ısının bir ağırlığı olduğundan, kömür yandıkça kütle kaybeder. Eğer yanma sürecinde oluşan kül ve çıkan gazlar gibi tüm yan ürünlerin ağırlığını ölçebilseydik, kömürün ilk halinden daha düşük bir ağırlığa ulaşırdık.

Kömür yanarken, ısı enerjisine dönüşen kütle enerjisinin miktarı ölçülemeyecek kadar küçüktür. Bununla birlikte doğada, önemli miktarda kütlenin diğer enerji türlerine dönüştüğü bir yer bulunuyor. Bu yeri, 1919 yılında İngiliz fizikçi Francis Aston atomları "tartarken" tespit etti.

Doğada bulunan 92 atomun her birinin, iki ayrı atomaltı parçacıktan –proton ve nötron– meydana gelen bir çekirdek içerdiğini hatırlayın.[6] Bu nükleonların kütleleri aşağı yukarı aynı olduğundan, en azından ağırlığı mevzubahis olduğunda, çekirdeğin tek bir yapı taşından oluştuğu düşünülebilir. Bunu bir Lego taşı olarak düşünelim. Bu bağlamda, en hafif çekirdeğe sahip hidrojen tek bir Lego taşından oluşurken, en ağır element uranyum 238 Lego taşından oluşmaktadır.

19. yüzyılın başlarında, belki de evrenin başlangıcında yalnızca tek bir tür atomun (en basit atom olan hidrojenin) var olduğundan şüpheleniliyordu. Bu düşünceye göre, başlangıç anından itibaren diğer tüm atomlar, hidrojen Lego taşlarının birleşmesi yoluyla oluşmuştu. Bu düşüncenin, İngiliz fizikçi William Prout tarafından 1815 yılında öne sürülen kanıtı ise lityum gibi bir atomun hidrojenden tam olarak altı kat, karbon gibi bir atomun ise hidrojenden tam olarak 12 kat (ve diğer atomlar için de bu şekilde devam etmektedir) daha ağır olduğuydu.

Fakat Aston, farklı türlerdeki atomların kütlelerini, kütle spektrografı adını verdiği kendi icadı olan bir aletle daha net bir şekilde karşılaştırdığında, başka bir şey keşfetti. Aston'un ölçümlerine göre, lityum altı, karbon ise 12 hidrojen atomunun toplam ağırlığından biraz daha hafif çıkıyordu. En büyük tutarsızlık ise en hafif ikinci atom olan helyumdaydı. Helyum çekirdeğinin dört Lego taşından oluştuğu düşünüldüğünden, normalde bir hidrojen atomundan dört kat daha ağır olması bekleniyordu. Ancak çıkan sonuç, helyumun dört hidrojen atomundan yüzde 0,8 daha hafif olduğuydu. Bu durum, terazinin bir kefesine dört adet 1 kilogramlık şeker paketi koyup, toplam ağırlıklarının

[6] Elbette çekirdeği yalnızca tek bir protondan oluşan ve nötrona sahip olmayan, hidrojenin en genel izotopu haricinde.

diğer kefedeki dört kilogramlık ağırlıktan neredeyse yüzde 1 daha az olduğunu görmekle aynı şey.

Prout'un şiddetli bir şekilde savunduğu gibi, bütün atomlar hidrojen atomlarından oluştuysa, Aston'un bu keşfi atomların oluşumu hakkında çok ciddi bir soru işareti doğuruyordu. Çünkü süreç içinde, kütle enerjisinin ciddi bir kısmı sırra kadem basıyordu.

Diğer tüm enerji türleri gibi, kütle enerjisi de yok edilemez. Yalnızca bir enerji türünden diğerine dönüştürülebilir ve önünde sonunda da en düşük enerji türü olan ısı enerjisine dönüşür. Dolayısıyla 1 kilogram hidrojen 1 kilogram helyuma dönüştürüldüğünde, 8 gram kütle-enerjisi ısı enerjisine dönüşmek durumundadır. İşin inanılmaz tarafı ise bu miktarın, 1 kilogram kömür yakarak elde edilebilecek enerjinin bir milyon katı olmasıdır!

Söz konusu bir milyon kat fazlalık elbette ki astronomların dikkatinden kaçmadı. Binlerce yıldır insanlar güneşin yanmasını sağlayanın ne olduğunu düşünüp durmuştur. Milattan önce 5. yüzyılda Yunan filozof Anaksagoras, "Güneşin Yunanistan'dan çok da büyük olmayan kızgın kırmızı bir demir topu" olduğunu öne sürmüştür. Kömür çağının yaşandığı 19. yüzyılda ise fizikçiler güneşin dev bir kömür kümesi olup olmadığı fikri üzerinde durmuştur. Bu durumda güneşin, tüm kömür kümelerinin anası olması gerekirdi! Öte taraftan fizikçiler, güneş bir kömür topu olsaydı, 5000 yıl içinde yanıp kül olması gerektiğininin de farkındaydı. Buradaki sorun, jeoloji ve biyoloji sayesinde elde edilen kanıtlar doğrultusunda, dünyanın (ve elbette güneşin de) en azından bir milyon kat daha yaşlı olduğunun bilinmesiydi. Güneşin, bu durumda, kömürden bir milyon kat daha yoğun bir enerji kaynağına sahip olduğu da pekâlâ düşünülebilirdi.

İkiyle ikiyi toplayan kişi, güneşin atom enerjisi (nükleer enerji) kullandığını öne süren İngiliz astronom Arthur Eddington oldu. Güneş en hafif atom olan hidrojeni kullanarak, en hafif ikinci atom olan helyumu üretiyor ve süreç içinde kütle enerjisi, ısı ve ışık enerjisine dönüşüyordu. Güneşin yaydığı muazzam enerjiyi üretmesi için, her bir saniye içinde 4 milyon ton kütle yok oluyordu. Eddington sayesinde, güneş ışığının kaynağıyla ilgili problem çözülmüş oldu.

Ancak bu tartışma, öte taraftan hafif bir atomu kullanarak daha ağır bir atom oluşturmanın, neden böylesine çok miktarda kütle enerjisinin diğer enerji türlerine dönüşmesine yol açtığı sorusunu göz ardı etmekteydi. Bu noktada bir parantez açabiliriz.

Bir evin önünden geçerken çatıdan düşen bir kiremitin kafanıza isabet ettiğini düşünün. Burada açığa çıkan bir enerji söz konusudur. Örneğin kiremit kafanıza çarptığı anda çıkacak ses, ses enerjisidir. Bir de ısı enerjisi vardır. Eğer kiremitin ve kafanızın ısısını doğru bir şekilde ölçebilseydiniz, ikisinin de çarpışma öncesine göre biraz daha sıcak olduklarını gözlemleyebilirdiniz.

Bütün bu enerji nereden geliyor? Cevap, kütleçekimi. Kütleçekimi, iki kütleli cisim arasındaki çekim kuvvetidir. Bu durumda, dünya ve kiremit arasındaki kütleçekimi, bu ikisini birbirlerine çekmektedir.

Peki, kütleçekimi iki kat daha kuvvetli olsaydı ne olurdu? Cevap çok açık: Kiremit zemine iki kat daha hızlı düşerdi. Çarpışma anında daha çok ses çıkarır ve daha çok ısı yaratırdı. Kısacası, daha çok enerji açığa çıkardı. Peki, kütleçekimi 10 kat daha kuvvetli olsaydı? Basit. Ortaya çıkan enerji miktarı daha da artardı. Tamam, bir de şunu düşünelim: Kütleçekimi 10.000 trilyon trilyon trilyon daha büyük olsaydı? Elbette kiremitin çarpmasıyla ortaya

çıkan şey, insan aklının durmasına neden olacak düzeyde bir enerji olurdu. Ayrıca dünya ve kiremitin birleşimi de çok daha hafif olurdu, tıpkı helyum atomu gibi.

Gerçekten de, kütleçekiminden 10.000 trilyon trilyon trilyon kat daha büyük bir kuvvet olamaz, değil mi? Ancak böyle bir kuvvet var ve bu kuvvet tam şu anda, her birimizin içinde! Bu, atomların çekirdeklerini bir arada tutan, nükleer kuvvetten başka bir şey değil.

Nükleer kuvvet altında, iki hafif atomun çekirdeklerinin birlikte düşmesi durumunda ne olacağını bir düşünün. Çarpışma inanılmaz bir sertlikte olacak ve muazzam düzeyde enerji açığa çıkacaktır – eş ağırlığa sahip kömürün yanmasıyla ortaya çıkan enerjiden bir milyon kat daha yüksek bir enerji.

Birleşen atomlar yalnızca güneş enerjisinin kaynağı değildir. Hidrojen bombasının enerji kaynağı da budur. Hidrojen bombası prensip olarak, helyum çekirdeği oluşturmak için hidrojen çekirdeklerinin birbirlerine çarpıştırılmasıdır (aslında kullanılan hidrojenin biraz daha ağır bir kuzeni, ancak bu başka bir hikâye). Helyum çekirdekleri, birleşimlerindeki hidrojenlerin toplam ağırlığından daha hafiftir ve arada kaybolan kütle, nükleer bombanın ürettiği inanılmaz düzeydeki ısı enerjisine dönüşür. 1 megatonluk hidrojen bombasının yıkıcı gücü (Hiroşima'ya atılan atom bombasından 50 kat daha büyük bir güçten bahsediyoruz), bir kilogramdan yalnızca biraz daha fazla bir kütlenin yok edilmesiyle elde edilir. Einstein, nükleer bombanın tarihinde oynadığı role değinirken, "Bunu önceden bilebilseydim, bir saat tamircisi olurdum," demiştir.

Kütlenin Enerjiye Tümden Dönüşümü

Her ne kadar Einstein kütleyi, yalnızca enerjinin sayısız türünden biri olarak göstererek indirgemiş olsa da, küt-

le enerjisinin bir açıdan özel olduğu söylenebilir. Kütle enerjisi, bilinen enerji türleri içinde, en yoğun olanıdır. Aslına bakılacak olursa, $E=mc^2$ de bu gerçeği özetleyen bir denklemdir. Fizikçilerin ışık hızı için kullandığı sembol olan c büyük bir sayıya tekabül eder: saniyede 300 milyon metre. Bu değerin karesini alarak çok daha büyük bir sayıya ulaşırız. Bu denklemin 1 kilogram maddeye uygulanması, 9×10^{16} joule enerji anlamına gelmektedir ki, bu enerji tüm dünya nüfusunu uzaya fırlatmaya yeter.

Elbette ki, 1 kilogram maddeden bu düzeyde bir enerji elde etmek için, bu maddenin tümünün bir başka enerji türüne dönüştürülmesi gerekir. Bunun için, tüm kütlesinin yok olması gerekir. Güneşteki ya da bir nükleer bombadaki nükleer tepkime, maddenin içinde hapis olan enerjinin ancak yüzde birini ortaya çıkarır. Ancak doğa bundan çok daha iyisini yapabilir.

Kara delikler, kütleçekiminin, ışığın kaçmasına bile müsaade etmeyecek kadar kuvvetli olduğu uzay sahalarıdır. Zaten kara delik olarak anılmalarının nedeni de, ışık yaymıyor oluşlarıdır. Kara delikler, kütleli bir yıldız öldüğünde, geriye kalan kalıntıların tümüyle mevcudiyetten silinene dek büzülmeyi sürdürmesiyle oluşur. Madde, su giderine kapılan su gibi, kara deliğin anaforuna kapıldığında, kendi içindeki sürtünmeden dolayı akkor haline gelene dek ısınır. Bu süreçte enerji kendisini ışık ve ısı olarak dışa vurur. Kara deliğin olası en yüksek hızda dönmeye başladığı özel bir durumda, ortaya çıkan enerji dönmekte olan maddenin kütlesinin yüzde 43'üne eşdeğerdir. Bunun anlamı, maddenin kendi içine çökerek bir kara deliğe dönüşmesinin, güneşe ya da hidrojen bombasına güç veren süreçten 43 kat daha etkili olduğudur.

Bu yalnızca bir teori de değil. Evren, kuasar adı verilen, yeni doğmuş galaksilerin süper-parlak çekirdek-

lerini içerir. 10 milyar yıl öncesine tekabül eden gençliğinde, belki kendi galaksimiz Samanyolu'nun kalbinde de bir kuasar vardı. Kuasarlar hakkında şaşırtıcı olan nokta, çoğu zaman 100 normal galaksinin sahip olabileceği düzeyde bir enerji boşaltıyor ve dahası bu enerjiyi, kendi güneş sistemimizden daha küçük bir alandan çıkarıyor olmalarıdır. Tüm bu enerji yıldızlardan geliyor olamaz, çünkü bu denli küçük bir alana bu kadar çok yıldızın sıkıştırılması mümkün değildir. Bu enerji ancak maddeyi emen dev bir kara delikten gelebilir. Dolayısıyla astronomlar, kuasarların, güneşin kütlesinin 3 milyar katı büyüklüğüne dek çıkabilecek ve yıldızları yutan süper-kütleli kara delikler olduğuna inanıyor. Fakat kara delikler bile maddenin kütlesinin ancak yarısını diğer enerji türlerine çevirebilir.

Peki ama, kütlenin tamamını enerjiye çevirebilecek bir süreç var mı? Evet, var. Madde, madde ve karşı-madde olarak iki türe ayrılır. Şu an için, karşı-madde hakkında şunu bilmeniz yeterli: Madde ve karşı-madde karşı karşıya geldiğinde, birbirlerini yok ederler ve kütle enerjilerinin yüzde 100'ü anında diğer enerji türlerine dönüşür.

Kimsenin bilmediği bir nedenden ötürü, evren neredeyse tamamen maddeden oluşmuş gibi görünmektedir. Bu bizim için bir bilmece sayılabilir, çünkü laboratuvarda küçük miktarlarda karşı-madde yaratıldığında, bu karşı-maddenin yanında her zaman aynı miktarda madde de oluşmaktadır. Evrende karşı-madde bulunmadığından dolayı, ihtiyacımız olduğunda karşı-maddeyi yaratmamız gerekiyor. Bu hiç de kolay bir iş değil. Süreç yalnızca çok fazla enerji gerektirmekle kalmıyor, aynı zamanda çok daha ciddi bir sorun da içeriyor. Karşı-madde, normal maddeyle karşılaştığı anda kendini yok etmeye meyilli olduğundan, karşı-madde biriktirmek çok zordur. Bugüne dek

bilim adamları ancak gramın milyarda biri kadar karşı-madde biriktirmeyi başarabilmiştir.

Yine de fazla miktarlarda karşı-madde yaratmanın ve depolamanın üstesinden gelebildiğimiz takdirde, akla hayale gelebilecek en kuvvetli enerji kaynağına sahip olabiliriz. Günümüz uzay araçlarının en önemli problemlerinden biri, yakıtlarını kendi yanlarında taşımaları zorunluluğudur. Ve yakıt çok ağırdır. Aslında yakıtı uzaya göndermek için bile yakıt gerekiyor. Yalnızca iki astronotu ayın yüzeyine taşımak ve geri getirmek için kullanılan *Saturn V* roketi 3000 ton ağırlığındaydı ve bu ağırlığın neredeyse tamamını yakıt oluşturuyordu. Bu noktada karşı-madde bir çözüm olabilir. Muazzam düzeyde enerji içerdiğinden, bir uzay mekiği yanına alacağı çok az miktarda karşı-maddeyle ciddi mesafeler katedebilir. Bir gün gerçekten de yıldızlara ulaşmayı başaracaksak, bunu ancak maddenin içerdiği enerjiyi son damlasına dek kullanarak yapacağız. Bunun için, tıpkı *Uzay Yolu*'ndaki gibi, karşı-maddeden güç alan uzay araçları inşa etmek durumundayız.

9

KÜTLEÇEKİM KUVVETİ DİYE BİR ŞEY YOK

Kütleçekimi Hakkındaki Gerçeği Nasıl Keşfettik ve Kara Delikler, Solucan Delikleri ve Zaman Makineleriyle Nasıl Karşı Karşıya Kaldık

Bir gün fikir ansızın aklıma düştü. Bern'de bulunan patent ofisindeki odamda otururken, düşünce birdenbire gelişmişti: Bir adam serbest bir şekilde düşerken kendi ağırlığını hissetmez. Afallayıp kalmıştım. Bu basit düşünce üzerimde ciddi bir etki yarattı. Ve bu da beni kütleçekim teorisine götürdü.
Albert Einstein

Onlar, 20 yaşında ikiz kız kardeşler. İkisi de Manhattan'da aynı gökdelende çalışıyor.

Biri, zemin kattaki bir butikte asistan, diğeri ise 52. kattaki bir restoranda garson.

Saat sabahın 8:30'u. Döner kapıdan geçerek hole giriyor ve iş yerlerine gitmek için ayrılıyorlar. Biri alışveriş mağazasına giden mermer yolu adımlarken, diğeri kapılar kapanmadan yüksek-hızlı asansöre yetişmek için koşturuyor.

Asansörün tepesindeki saatin kolları bütün gün boyunca dönüyor ve saat akşamın 5:30'u oluyor. Zemin kattaki butik asistanı kız kardeş, inmekte olan asansörün paneline bakıyor. En sonunda kapılar açılıyor ve garson olarak çalışan kız kardeşi dışarı çıkıyor... Gümüş rengi bir yürütece tutunmuş, 85 yaşında çarpık bir figür olarak!

Bu hikâyenin yalnızca uçuk bir kurgu olduğunu sanıyorsanız, bir daha düşünün. Tamam, belki biraz abartma payı var, fakat abartılan şey bir gerçek. Durum şu ki, bir binanın zemin katında, en tepesine nazaran, daha yavaş yaşlanırsınız. Bu durum Einstein'ın, kendi özel görelilik teorisinin noksanlarını kapatmak için geliştirdiği genel görelilik teorisinin bir etkisidir.

Özel görelilik teorisinin sorunu, özel olmasıydı. Teori temel olarak, bir kişinin, kendisine göre sabit hızda yol alan bir başka kişiye baktığında ne gördüğü üzerinedir. Teoriye göre, hareket halindeki kişi hareket ettiği yönde büzülürken, zaman algısı yavaşlar; bu etki ışık hızına yaklaşıldıkça çok daha belirginleşir. Ancak sabit hızda hareket çok özel bir durumdur. Çünkü genel olarak cisimler, zamanla hızlarını değiştirir. Örneğin trafik ışığını geride bırakan bir otomobil hızını arttırırken, bir uzay mekiği atmosfere girdiğinde yavaşlar.

Bu bağlamda, 1905 yılında kendi özel görelilik teorisini yayımladığında Einstein'ın cevaplamak istediği soru şuydu: Bir kişi, kendisine göre hızlanan bir kişiye baktı-

ğında ne görür? Einstein'ın bulmak için on yıldan fazla zaman harcadığı cevap ise tek bir insan tarafından bilim tarihine yapılmış en büyük katkı olarak kabul edilebilecek "genel" görelilik teorisidir.

Einstein araştırmalarına başladığında, özellikle bir sorun kafasını meşgul ediyordu: Newton'un kütleçekim kanunuyla ne yapacağı. Newton'un kütleçekim kanunu neredeyse 250 yıl boyunca tartışılmadan kabul edilmiş olsa da, Einstein bu kanunun özel görelilik teorisiyle temel anlamda uyumsuzluk içinde olduğunun farkındaydı. Newton'a göre, her kütleli cisim, bir diğer kütleli cisme kütleçekimi denilen bir kuvvetle çekilmektedir. Örneğin dünya ile her birimiz arasında bir kütleçekimi mevcuttur; ayaklarımızın zemine basmasını sağlayan da budur. Güneş ve dünya arasında da kütleçekimi vardır; dünyayı güneşin etrafındaki yörüngesinde tutan bu çekim kuvvetidir. Einstein'ın karşı çıktığı noktalar bunlar değildi elbette. Asıl sıkıntı kütleçekiminin hızındaydı.

Newton, kütleçekim kuvvetinin anında etki gösterdiğini düşünüyordu. Bunun anlamı, dünyanın güneşin kütleçekimini herhangi bir gecikme olmaksızın hissettiğiydi. Bu bağlamda, güneş tam şu anda yok olacak olsa, dünyanın da, güneşin kütleçekim yokluğunu aynı anda hissetmesi ve yörüngesini kaybederek uzayın derinliklerine doğru kaymaya başlaması gerekiyordu.

Güneş ve dünya arasındaki mesafeyi hiç zaman kaybetmeksizin katedecek bir etkinin, yani güneşin kütleçekiminin, sonsuz hızda yol alması gerekir. Anında bir başka yerde olmak ve sonsuz hız eşdeğer şeylerdir. Fakat Einstein, kütleçekimi de dahil olmak üzere, hiçbir şeyin ışıktan daha hızlı hareket edemeyeceğini keşfetmişti. Işığın, güneş ve dünya arasındaki mesafeyi alması 8 dakika sürdüğünden, eğer ki güneş birdenbire yok olacak olsay-

dı, dünyanın yörüngesinden çıkıp diğer yıldızlara kaymasından önce en azından 8 dakikadan biraz daha uzun bir süre geçmesi gerekirdi.

Öte yandan Newton'un, kütleçekiminin uzay boşluğunu sonsuz bir hızla katettiğine yönelik üstü kapalı çıkarını, kütleçekim kanunundaki tek ciddi hata değildi. Newton aynı zamanda kütleçekim kuvvetinin kaynağının kütlenin kendisi olduğunu düşünüyordu. Einstein ise tüm enerji türlerinin etkin bir kütlesi (ya da ağırlığı) olduğunu ortaya koydu. Dolayısıyla da, yalnızca kütle enerjisi değil, tüm enerji türlerinin bir kütleçekim kaynağı olması gerekiyordu.

Einstein'ın karşı karşıya kaldığı güç durum, özel görelilik teorisindeki fikirleri yeni bir kütleçekim teorisine dahil etmek ve dünyanın hızlanmakta olan bir insana nasıl görüneceğini tanımlamak için özel görelilik teorisini genellemekti. Bu devasa sorunlarla boğuşurken Einstein'ın kafasında bir ışık parladı. Kendisini hem şaşırtan hem de keyiflendiren bir şekilde bu iki işin aslında tek ve aynı şey olduğunu fark etmişti.

Kütleçekimi Hakkındaki Tuhaflık

Söz konusu bağlantıyı anlamak için, kütleçekiminin tuhaf bir özelliğini göz önüne almamız gerekiyor. Tüm cisimler, kütlelerinden bağımsız olarak, aynı hızda yere düşer. Örneğin bir yerfıstığı, bir insanla aynı sürede hızlanır. Bu davranış ilk kez olarak 17. yüzyıl İtalyan bilim adamı Galileo tarafından fark edilmişti. Galileo'nun, kütleçekiminin bu özelliğini gözlemlemek için, yanına biri hafif diğeri ağır iki cisim alarak, her ikisini de aynı anda Pisa Kulesi'nden attığı söylenir. İki cisim de yere aynı anda iner.

Kütleçekiminin bu özelliğinin dünya üzerinde her zaman aynı şekilde gözükmemesinin nedeni, hava direnci-

nin farklı ağırlıktaki cisimler üzerinde farklı etkilere yol açıyor olmasından başka bir şey değildir. Bununla birlikte, Galileo'nun deneyi cisimlerin düşüş süresini değiştiren hava direncinin olmadığı bir ortamda mesela ayda yinelenebilir. 1972 yılında, *Apollo 15* komutanı Dave Scott bir çekiç ve tüyü aynı anda yere bıraktı. Ve beklendiği üzere, her ikisi de ay zeminine tam olarak aynı anda indi.

Bu olayın tuhaf yanı ise genellikle cismin bir güce karşılık nasıl hareket edeceğinin, cismin kütlesine bağlı olduğudur. İşleri karıştıracak sürtünme unsurunun bulunmadığı, buz pateni pisti gibi bir zemin üzerinde, tahta bir tabure ve dolu bir buzdolabı düşünelim. Ve iki kişinin buzdolabı ve tabureyi tam olarak aynı ölçüde bir kuvvet uygulayarak ittiğini. Buzdolabına göre daha az kütleye sahip olan tabure açık bir şekilde daha kolay itilebilecek ve daha kısa sürede hız kazanacaktır.

Peki ama, tabure ve buzdolabı kütleçekim kuvveti altında nasıl davranır? Her ikisini de 10 katlı bir apartmanın tepesinden aşağı bıraktığımızı düşünelim. Bu durumda, Galileo'nun da öngöreceği gibi, tabure buzdolabına nazaran daha kısa sürede hız kazanamaz. Aralarındaki ciddi boyutlardaki kütle farkına rağmen, tabure de buzdolabı da zemine doğru düşerken aynı oranlarda hız kazanır.

Artık kütleçekimi hakkındaki tuhaf durumun ne olduğunu anlamış bulunuyoruz. Büyük bir kütle, küçük kütleli bir cisme nazaran, daha büyük bir kütleçekim kuvveti hisseder ve bu kuvvet cismin kütlesiyle doğru orantılıdır. Yani büyük kütle küçük kütleyle tam olarak aynı oranlarda hız kazanır. Peki ama, kütleçekimi, kuvvet uygulayacağı cisme göre kendisini nasıl ayarlamaktadır? Kütleçekiminin bunu inanılamayacak ölçüde basit ve doğal bir şekilde gerçekleştirdiğini fark etmek için gerekli olan,

Einstein'ın dehası oldu. Dahası bu yolun, kütleçekimini kavrayışımız üzerinde de önemli sonuçları olduğu anlaşıldı.

Kütleçekimi ve İvmenin Eşdeğerliği

Bir astronotun yukarı doğru saniyede 9,8 metre ivme kazanmakta olan bir oda içinde olduğunu düşünelim (ki bu yerçekiminin dünyaya düşen nesnelere bahşettiği ivmedir). Bu oda, roket motorları henüz ateşlenmiş olan bir uzay mekiğinin kabini olsun. Astronot bir eline çekiç, diğerine de tüy alsın ve her ikisini de aynı yükseklikten ve aynı anda kabin zeminine bıraksın. Bu durumda ne olur? Elbette çekiç de, tüy de zemine iner. Ancak bu olayın yorumlanması bütünüyle özel bir bakış açısına dayanıyor.

Uzay mekiğinin gezegen gibi büyük kütleye sahip herhangi bir cisimden uzakta olduğunu varsayarak, çekiç ve tüyün ağırlıksız olduğunu düşünebiliriz. Dolayısıyla bir tür X-ışını kullanarak uzay mekiğinin içine baktığımızda, iki cismin hareketsiz bir şekilde havada asılı olduğunu görürüz. Diğer taraftan uzay mekiği yukarı doğru ivme kazandığından ötürü, kabin zemininin çekiç ve tüye ulaşmaya çalıştığını da görürürüz. Ve dahası, çarpışma gerçekleştiğinde, zemin her iki cisimle de aynı anda çarpışacaktır.

Astronotun amnezi yaşadığını ve bir uzay mekiğinin içinde olduğunu unuttuğunu düşünelim. Ayrıca mekiğin pencereleri de karartılmış olsun ki, astronot nerede bulunduğunu kesinlikle anlayamasın. Bu durumda astronot gördüklerini nasıl yorumlar?

Astronot muhtemelen, çekiç ve tüyün yerçekiminin etkisiyle düştüğünü düşünecektir. Ne de olsa yerçekiminin etkisi altında olan cisimlerin yapacağı tek şeyi yapmışlardır, aynı hızda düşmüş ve zemine aynı anda çarpmış-

lardır (elbette hava direncini göz ardı ediyoruz). Astronotun gördüklerinin yerçekiminden kaynaklandığını düşünmesinin bir diğer nedeni de, ayaklarının zemine bağlı oluşudur; tıpkı dünyadaki bir yerde olacağı gibi. Aslına bakılacak olursa, astronotun görüp görebileceği her şey, dünya üzerinde olsaydı yaşayacaklarından kesinlikle ayırt edilemez durumda olacaktır.

Elbette bu yalnızca bir tesadüf olabilir. Fakat Einstein bunun doğa hakkındaki çok derin bir gerçeği işaret ettiğini düşündü. Gerçekten de kütleçekimi ivmeden ayırt edilemez durumdadır ve bunun nedeni de çok basittir. Kütleçekimi ivmedir! Bu gerçeği fark etmenin hayatının en mutluluk verici düşüncesi olduğunu söyleyen Einstein için, kütleçekimine ve ivmelenmiş bir hareketi tanımlayacak teoriye yönelik arayışın aslında aynı şey olduğu ortaya çıkmıştı.

Einstein kütleçekimi ve ivme arasındaki ayırt edilemezliği eşdeğerlik ilkesi adıyla tanımlayarak, fiziğin temel kaidelerinden biri olarak ortaya koydu. Eşdeğerlik ilkesi, kütleçekiminin diğer kuvvetlere benzemediğini söylemektedir. Aslına bakılacak olursa, gerçek bir kuvvet bile değildir. Bu ayırt edilemezliğin Einstein tarafından keşfinden önce, camları karartılmış uzay mekiği içinde amnezi yaşayan astronottan hiçbir farkımız yoktu. Çevremizi saran unsurların ivmelendiğini fark edemediğimizden dolayı, neden nehirlerin aşağı doğru aktığını ya da elmaların ağaçtan düştüğünü açıklamak için bir yol bulmamız gerekiyordu. Tek yol hayali bir kuvvet icat etmekti. Bu hayali kuvvet de, kütleçekimi oldu.

Kütleçekim Kuvveti Diye Bir Şey Yok!

Kütleçekiminin hayali bir kuvvet olduğu fikri biraz zorlama gelebilir. Fakat deneyimlediğimiz diğer tüm günde-

lik olayları anlamlandırabilmek için çeşitli kuvvetler icat etmekten geri durmadığımız da bir gerçek. Sert bir virajı dönmekte olan bir otomobilin içindeki yolcu olduğunuzu düşünün. Otomobilin içinde size olan şeyi açıklamak için bir merkezkaç kuvvetini icat edersiniz. Gerçekte ise böyle bir kuvvet yoktur.

Harekete geçen tüm kütleli cisimler, düz bir çizgi üzerinde sabit bir hızla yol alma eğilimindedir.[1] Eylemsizlik olarak bilinen bu özellik nedeniyle, sizin gibi bir yolcu da dahil olmak üzere, otomobil içindeki sabitlenmemiş tüm cisimler, aracın virajı dönmeden önceki yönünde yol almaya devam ederler. Ancak aracın kapısının takip ettiği yol bir eğridir. Sert bir viraj alan otomobilin içinde bir anda kendinizi kapıya yapışmış olarak bulmanız hiç de şaşırtıcı olmaz. Ancak aslında olan şey, tıpkı uzay mekiğinin ivmelenen zemininin çekiç ve tüyle buluşması gibi, kapının da sizinle buluşmak üzere yaklaşıyor olmasıdır.[2] Ortada hiçbir kuvvet yoktur.

Merkezkaç kuvveti, bir eylemsizlik kuvveti olarak bilinmektedir. Hareketimizi açıklamak için bu türden bir kuvvet yaratmamızın nedeni, gerçeği görmezden gelmemizden başka ne olabilir ki? Yani çevremizdeki unsurların da bize göre hareket içinde olduğu gerçeğini. Viraj dönen otomobil içindeki hareketimiz sadece eylemsizliğimizin bir sonucudur; bir diğer ifadeyle, düz bir çizgi üzerinde hareketimizi sürdürmeye yönelik doğal eğilimimizin. Kütleçekiminin de bir eylemsizlik kuvveti olduğunu fark

---

1 Bu durum, sürtünme kuvvetinin hareket halindeki bir cismi yavaşlattığı dünya üzerinde bu kadar aşikâr olmasa da, boş uzayda net olarak görülebilir.

2 Yalnızca hızdaki değişime ivme denmediğini belirtmekte fayda var. İvme aynı zamanda yöndeki değişimin de adıdır. Bu nedenle viraj dönmekte olan bir araç (her ne kadar hızı sabit olsa da) ivmelenmektedir.

etmek ancak Einstein'ın inanılmaz içgörüsü sayesinde olmuştur. Einstein, "kütleçekimi ve eylemsizlik özdeş şeyler olabilir mi?" diye sorar. "İşte bu soru sizi doğrudan kütleçekim teorime götürecek."

Einstein'a göre, ağaçlardan düşen elmaları ya da gezegenlerin güneşin etrafında dönüşünü kendimize açıklayabilmek için, kütleçekim kuvvetini biz uydurduk. Çünkü çevremizdeki unsurların bize göre ivmelenmekte olduğunu görmezden geldik. Fakat cisimler yalnızca eylemsizliklerinin bir sonucu olarak hareket eder. Kütleçekim kuvveti diye bir şey yoktur!

Durun bir dakika! Kütleçekim kuvveti nedeniyle gerçekleştiğini sandığımız hareket, aslında sadece eylemsizliğin bir sonucuysa, bunun anlamı, dünya gibi kütlelerin gerçekten de uzayda düz bir çizgi üzerinde ve sabit hızla uçuyor olması gerektiğidir. Bu ne kadar da saçma! Sonuçta dünya, güneşin etrafında dönüyor, düz bir çizgi üzerinde uçtuğu da yok, değil mi? Tam olarak öyle değil. Aslında her şey, düz bir çizgiyi nasıl tanımladığınıza dayanıyor.

Kütleçekimi Eğik Uzaydır

Düz bir çizgi iki nokta arasındaki en kısa yoldur. Bir kâğıdın üzerinde bu durum kesinlikle doğru. Peki ama, eğri bir yüzey üzerinde? Diyelim ki, dünyanın yüzeyi üzerinde? Londra ve New York arasındaki en kısa rotayı seçen bir uçak düşünün. Uçak nasıl bir rota izleyecektir? Uzaydan bakan bir gözlemci için bu rotanın eğik olacağı açık bir şekilde ortadadır. Ya da engebeli bir arazi üzerinde ilerleyen bir dağcıyı düşünelim. Onun rotası nasıl olur? Bu dağcıyı, arazi engebelerinin ayırt edilemeyeceği kadar yüksek bir noktadan seyreden gözlemci için, dağcı oldukça dolambaçlı bir şekilde ileri-geri hareket edip duracaktır.

O halde, sanılanın aksine, iki nokta arasındaki en kısa mesafenin her zaman düz bir çizgi olması gerekmiyor. Aslına bakacak olursanız, düz bir çizgi ancak özel bir tür yüzey üzerinde var olabilir – düz bir yüzey üzerinde. Dünyanınki gibi eğri bir yüzey üzerinde, iki nokta arasındaki en kısa mesafe her zaman eğri olmak durumundadır. Bu gerçeğin fark edilmesiyle matematikçiler, düz çizgi kavramını eğik yüzeyleri de dahil edecek şekilde yeniden tanımladı. Yalnızca düz değil, her türlü yüzey üzerinde iki nokta arasındaki en kısa rotaya jeodezik adı verildi.

Bütün bunların kütleçekimiyle ne bağlantısı var? Bağlantı, ışık. İki nokta arasındaki en kısa mesafeyi almak, ışığın karakteristik bir özelliği. Mesela tam şu anda, okuduğunuz bu kelimelerden gözlerinize gelen ışık da en kısa rotayı izliyor.

Yeniden, karartılmış kabin camlarıyla ivmelenmekte olan mekiğin içindeki astronotumuza dönelim. Çekiç ve tüyle sayısız deneyin ardından bu cisimlerden sıkılan astronot, bir lazer alarak kabinin sol tarafındaki raf üzerine yerleştirsin. Diyelim ki, 1,5 metre yüksekliğe. Ardından da kabinin sağ tarafına geçerek, kabin duvarına yine 1,5 metre yükseklikte bir kırmızı çizgi çeksin. Bu düzeneğin kurulmasının ardından açtığı lazer ışını, kabini yatay olarak kesecektir. Peki ama, lazer sağ duvardaki kırmızı çizgiye neresinden çarpar?

Lazer ışınının yatay olarak çalıştırıldığı düşünülürse, karşı duvarı tam olarak kırmızı çizgi üzerinden vurması gerekir. Peki bunu yapar mı? Elbette hayır!

Işık kabin içinde uçuştayken, uzay mekiğinin zemini de sürekli olarak roket motorlarıyla itilmektedir. Bu nedenden ötürü, zemin ışıkla bir araya gelmek için yukarı doğru sürekli bir hareket içinde olacaktır. Işık kabinin sağ duvarına yaklaştıkça, zemin de ışığa yaklaşır. Ya da

astronotun bakış açısıyla, ışık zemine doğru yaklaşır. Dolayısıyla ışığın karşı duvara çarptığı nokta kırmızı çizginin altında olur. Astronot, ışık huzmesinin kabini geçerken aşağı doğru düzgün bir eğri çizdiğini görür.

Işığın her zaman iki nokta arasındaki en kısa rotayı izlediğini biliyoruz. Düz bir şey üzerindeki en kısa rota düz bir çizgiyken, eğik bir yüzeyde ise bir eğridir. Peki o zaman, mekik kabininin içinde süzülen ışık huzmesinin rotasının eğik olması gerçeğinden nasıl bir sonuç çıkarırız? Buradan çıkarabileceğimiz tek sonuç, kabin içindeki uzayın bir şekilde eğik olduğudur.

Bunun, mekiğin ivmelenmesi nedeniyle oluşan bir hayal olduğunu öne sürebilirsiniz. Öte yandan unutmamamız gereken nokta, önemli olanın astronotun ivmelenen bir mekiğin içinde bulunduğunu kesinlikle bilmiyor oluşudur. Yalnızca dünya üzerindeki bir odada yerçekiminden etkileniyor da olabilirdi. Bunu anlamasının imkânı yok. İvme ve kütleçekimi ayırt edilemez. Bu durum eşdeğerlik ilkesidir. Lazer ışınıyla gerçekleştirilen deneyin aslında ortaya koyduğu (ve bu durum eşdeğerlik ilkesinin inanılmaz gücünü gösterir), ışığın kütleçekimi etkisinde eğik bir rota izlediğidir. Ya da bir başka şekilde söyleyelim: Kütleçekimi ışığın yolunu eğer.

Kütleçekimi ışığı eğer, çünkü uzay, kütleçekiminin mevcudiyetinde, bir şekilde eğiktir. Kütleçekiminin olduğu şey aslında budur: eğri bir uzay.

Eğri uzayla tam olarak neyi kastediyoruz? Dünyanın yüzeyi gibi bir eğikliği aklımızda canlandırmamız daha kolay. Bunun nedeni, dünya yüzeyinin yalnızca iki yöne ya da boyuta sahip olmasıdır: kuzey-güney, doğu-batı. Uzayın durumu ise bundan biraz daha karmaşık. Üç uzay boyutuna (kuzey-güney, doğu-batı ve yukarı-aşağı) ilaveten bir de zaman boyutu söz konusu (geçmiş-gelecek). Ancak

Einstein'ın gösterdiği gibi, uzay ve zaman aslında aynı şeyin farklı yüzleri olduğundan, dört "uzay-zaman" boyutu olduğunu düşünmek daha doğru olacaktır.

Üç boyutlu cisimlerin dünyasında yaşadığımızdan ötürü, dört boyutlu uzay-zamanı hayal etmemiz mümkün değil. Bu yüzden, dört boyutlu bir uzay-zamandaki eğriliği zihnimizde canlandırmamız ise iki kat daha zor. Ancak kütleçekimi budur: dört boyutlu uzay-zamanın bükülmesi.

Neyse ki bunun ne anlama geldiği hakkında biraz fikir yürütebiliyoruz. Gergin bir trombolinin iki boyutlu yüzeyinde yaşayan bir karınca ırkı düşünün. Karıncalar yalnızca yüzeyde olanı görebilir; trombolinin aşağısındaki ya da yukarısındaki uzaya, yani üçüncü boyuta dair hiçbir fikirleri olmaz. Üçüncü boyuttan çıkıp gelmiş muzır karakterler olarak aramızdan birinin, trombolinin üzerine bir gülle koyduğunu düşünelim. Karıncalar önünde sonunda, gülleye yaklaştıkları zamanlarda yollarının esrarengiz bir şekilde gülleye doğru eğim kazandığını keşfedecek ve bunu, güllenin üzerlerinde bir çekim gücü uyguladığı şeklinde açıklayacaklardır. Hatta belki onlar da buna kütleçekimi der.

Ancak elbette ki, olan bitene üçüncü boyuttaki tanrısal noktamızdan baktığımızda, karıncaların yanıldığı açık bir şekilde görülecektir. Onları gülleye çeken herhangi bir kuvvet yoktur. Yaşadıkları durum, güllenin trombolin üzerinde vadi benzeri bir çöküntüye neden olmasından başka bir şey değildir ve yollarının gülleye doğru eğim kazanması da bundandır.

Einstein'ın büyük buluşu, trombolin üzerindeki karıncalardan çok da farklı bir durumda olmadığımızı fark etmesiydi. Uzayda yol almakta olan dünyanın rotası sürekli olarak güneşe doğru bir meyil yapar ve gezegenimiz neredeyse dairesel bir yörünge izler. Hiç de mantıksız olma-

yacak bir şekilde, güneşin dünya üzerinde bir çekim gücü uyguladığını düşünürüz ve buna kütleçekim kuvveti deriz. Ve tıpkı karıncalar gibi yanılmış oluruz. Eğer olaylara dördüncü boyutun tanrısal perspektifinden bakabilseydik (ki bu durum karıncaların üçüncü boyuttan cisimleri görmesi kadar imkânsızdır), bu türden bir kuvvet olmadığını görürdük. Aslında olan, güneşin dört boyutlu uzay-zaman içerisinde vadi benzeri bir çöküntü yaratması; dünyanın güneş etrafında neredeyse dairesel bir yörünge izlemesinin nedeni de, bükülmüş uzay içerisinde bunun izlenebilecek en kısa rota olmasıdır.

Kütleçekim kuvveti diye bir şey yoktur. Yalnızca dünya, uzay-zaman içerisinde mümkün olan en düz çizgiyi izlemektedir. Güneşin yakınlarında uzay-zamanın bükülmesinden dolayı, bu çizgi neredeyse dairesel bir yörüngeye dönüşür. Raymond Chiao ve Achilles Speliotopoulos'a göre: "Genel görelilikte, kütleçekimsel kuvvet yoktur. Bir parçacık üzerinde kütleçekiminin kuvveti sandığımız şey, aslında hiçbir şekilde kuvvet değildir. Olan yalnızca, parçacığın eğri bir uzay-zaman içerisinde mümkün olan en düz rotayı izlemesidir."

Uzay-zaman dahilinde mümkün olan en düz rotayı izleyen bir cisim serbest düşüş içerisindedir ve serbest düşüş içinde olduğundan ötürü, kütleçekimini hissetmez. Dünya da güneşin etrafında bir serbest düşüş içerisindedir. Dolayısıyla gezegenimizde güneşin kütleçekimini hissetmeyiz. Uluslararası Uzay İstasyonu'ndaki astronotlar da dünyanın etrafında bir serbest düşüş içerisindedir. Dolayısıyla onlar da dünyanın kütleçekimini hissetmemektedir.[3]

[3] İnsanların çoğu, dünyanın yörüngesinde dönmekte olan astronotların ağırlık sahibi olmamasını, uzayda yerçekiminin yokluğuna bağlar. Ancak yeryüzünden 500 kilometre kadar yüksekte

Kütleçekimi yalnızca, bir cismin doğal hareketini izlemesi engellendiğinde ortaya çıkar. Bizim doğal hareketimiz, dünyanın merkezine doğru bir serbest düşüştür. Ancak zemin bizi engeller ve vücudumuzun üzerinde hissettiğimiz şey zeminin kuvvetidir. Bunu kütleçekimi olarak yorumlarız. Tıpkı araç, virajı alırken düz bir çizgi üzerindeki doğal hareketimizi izlemekten bizi alıkoyduğunda hissettiğimiz şeyin merkezkaç kuvveti olması gibi, kütleçekim kuvveti de, çevremizdeki unsurlar bir jeodezik boyunca doğal hareketimizi izlememizi engellediğinde hissettiğimiz şeydir.

Muhtemelen, kütleli cisimlerin bükülmüş uzay-zaman içerisinde kendi eylemsizlikleri altında hareket ettiklerini düşünmek, kütleçekimin evrensel kuvveti altında hareket ettiklerini düşünmeye kıyasla, işi gereksiz yere karmaşıklaştırmak olarak görünebilir. Fakat bu iki durum birbiriyle eşdeğer değildir. Üstün durumda olan Einstein'ınkidir. Öncelikle, bükülen şey yalnızca uzay değil, özel göreliliğin uzay-zamanıdır. Dolayısıyla bu resim, ışık hızını sabit tutan uzay ve zaman arasındaki karşılıklı etkileşimi de otomatik olarak içerir. Bunun yanında, Einstein'ın ortaya koyduğu resim yeni şeyler de öngörmektedir.

Trombolin üzerindeki karıncalarımıza dönelim. Trombolinle, yalnızca onu gülle gibi ağır bir kütleyle çökertmek dışında yapılabilecek başka şeyler de var. Mesela bir köşesinden trombolini aşağı-yukarı sallayabilirsiniz. Bu

olan Uluslararası Uzay İstasyonu'nda, yerçekimi dünya yüzeyine göre yalnızca yüzde 15 daha zayıftır. Astronotların ağırlıksız olmasının asıl nedeni, kendilerinin ve mekiklerinin serbest düşüşte olmasıdır. Tıpkı kabloları kopmuş asansördeki bir insan gibi. Fark ise astronotların asla zemine çakılmayacak olmasıdır. Bunun nedeni nedir? Çünkü dünya yuvarlaktır ve astronotların zemine doğru düştükleri aynı hızla, zemin de onlardan uzağa doğru dönmektedir. Dolayısıyla da, sonsuza dek bir daire içinde düşmeye devam ederler.

durum trombolin üzerinde, dışa doğru yayılan titreşimlere neden olur. Tıpkı bir gölet üzerindeki küçük dalgalar gibi. Aynı şekilde, kara delik gibi büyük bir kütlenin titreşmesi de uzay-zamanın "dokusunda" dalgalanmalara neden olabilir. Bu kütleçekimsel dalgalar henüz doğrudan saptanamamış olsa da, Einstein'ın teorisinin önemli öngörülerinden biridir.

Uzay-zaman içerisinde dalgaların yayılabileceği gerçeği, uzayın Newton'un hayal ettiği gibi pasif, boş bir ortam olmadığını gösteriyor. Aslında uzay, gerçek özelliklere sahip aktif bir ortamdır. Newton'un sandığı gibi, madde boş uzayın içinde bir başka maddeye çekilmez. Madde uzay-zamanı bozmaktadır; diğer maddeyi etkileyen de bozulmuş uzay-zamandır. John Wheeler'ın ortaya koyduğu gibi: "Kütle, uzay-zamana nasıl büküleceğini ve bükülmüş uzay-zaman da kütleye nasıl hareket edeceğini söylemektedir."

Uzay-zamanda kütleli bir cismin neden olduğu bu bükülmenin diğer bir kütleyi etkilemesi zaman alır. Güllenin trombolinde oluşturduğu bükülmenin uçlara ulaşmasının zaman alması gibi. Bu yüzden kütleçekimi (bükülmüş uzay-zaman) ancak bir gecikmenin ardından ve ışık hızı tarafından ortaya konan kozmik hız sınırıyla mükemmel bir uyum içinde devreye girer.

Uzay-zamanın, hava veya su gibi gerçek bir ortamın özelliklerinden bazılarına sahip olmasının, gezegenler ve yıldızlar gibi daha büyük cisimler üzerinde de etkisi vardır. Bu cisimler kendi eksenleri etrafında dönerken, aslında uzay-zamanı da kendileriyle birlikte sürüklerler. NASA, sürüklenme (*frame dragging*) olarak bilinen bu etkiyi aydınlığa kavuşturmak üzere 2004 yılında Gravity Probe B uydusunu uzaya yolladı. Etki, her ne kadar potansiyel anlamda ölçülebilir olsa da, dünyanın çevresinde olduk-

ça düşükken, hızla dönmekte olan bir kara deliğin yakınlarında korkutucu boyutlardadır. Bu türden bir cisim, dönmekte olan uzay-zaman anaforunun tam merkezinde bulunur. Kara deliğe düşen birisi bu anaforla sürüklenip gidecektir ve evrende bunun önüne geçebilecek hiçbir kuvvet yoktur.

Genel Göreliliğin Tarifi

Einstein'ın kütleçekimini nasıl yeniden ele aldığı artık açıklığa kavuşmuş olmalı. Kütleler, örneğin güneş gibi yıldızlar, etraflarındaki uzay-zamanı büker. Bu durumda, diğer kütleler, örneğin dünya gibi gezegenler, kendi eylemsizlikleri altında ve bükülmüş uzay-zaman içerisinde serbest bir şekilde hareket eder. İzledikleri rotalar eğiktir, çünkü bunlar bükülmüş bir uzay içinde olası en kısa rotalardır. Bu kadar. Genel görelilik teorisi budur.

Ancak şeytan ayrıntılarda gizli. Gezegen gibi kütleli bir cismin bükülmüş uzay içerisinde nasıl hareket ettiğini biliyoruz. Mümkün olan en kısa rotayı izliyor. Peki ama, güneş gibi bir kütle, etrafındaki uzay-zamanı tam olarak nasıl büküyor? Einstein'ın bu soruyu cevaplaması 10 yıldan daha uzun bir zaman aldı; konunun detayları ise telefon rehberi büyüklüğündeki bir kitabı doldurabilirdi. Yine de Einstein'ın genel görelilik teorisini oluştururken yola çıktığı noktayı anlamak o kadar da güç değil. Aslında bu nokta, eşdeğerlik ilkesi.

Yeniden camları karartılmış mekik içindeki çekiç ve tüye dönelim. Astronot için bu iki cisim kütleçekiminin kuvvetiyle zemine düşüyorlarmış gibi görünecektir. Ancak deneyi mekiğin dışından takip eden birisi, çekiçle tüyün yalnızca havada asılı olduklarını ve kabin zemininin bu cisimlerle karşılaşmak için yukarı doğru ivmelendiğini görecektir. Cisimler tamamen ağırlıksızdır.

Bu gözlem temel bir öneme sahip. Serbest düşüş içerisinde olan bir cisim kütleçekimi hissetmez. Bir asansörün içinde olduğunuzu ve kabloların koptuğunu düşünelim. Asansör düşerken, ağırlığınız olmaz. Kütleçekimini hissetmezsiniz.

Einstein 1907 yılında defterine, "Bir gün fikir ansızın aklıma düştü," diye yazar. "Bern'de bulunan patent ofisindeki odamda otururken. Düşünce birdenbire gelişmişti: Bir adam serbest bir şekilde düşerken kendi ağırlığını hissetmez. Afallayıp kalmıştım. Bu basit düşünce üzerimde ciddi bir etki yarattı. Ve bu da beni kütleçekim teorisine götürdü."

Kütleçekimini hissetmeyen serbest düşüş içerisindeki bir cismin önemi nereden kaynaklanıyor? Durum şu ki, bu cisim kütleçekimini hissetmiyorsa (ya da ivmeyi; ikisi de aynı şey), o halde bu cismin davranışları tamamıyla Einstein'ın özel görelilik teorisiyle tanımlanacak demektir. İşte, özel görelilik teorisi ile kütleçekim teorisi arasındaki önemli bağlantı noktası budur.

Serbest düşüşteki bir cismin ağırlığının olmaması ve özel görelilikle tanımlanabileceğine yönelik gözlem, özel göreliliğin kütleçekimini hisseden bir cisim üzerinde de etkili olacak şekilde genişletilmesi için –kabaca olsa bile– bir yol önermektedir. Yeryüzünde bulunan ve ayaklarını yere bastığında kuşkuya mahal olmayacak şekilde kütleçekimini hisseden bir arkadaşınızı düşünelim. Arkadaşınızı dilediğiniz bakış açısından gözlemleyebilirsiniz. İsterseniz yakınlardaki bir ağaca kendinizi ayaklarınızdan baş aşağı asarak, isterseniz uçup geçmekte olan bir jetin içinden. Ancak tek bir bakış açısı önemli bir sonuç verecektir. Serbest düşüşteyken ağırlığınız olmaz, herhangi bir ivmeye maruz değilsinizdir. İvme hissetmediğiniz için de, arkadaşınızı tanımlamak için özel görelilik teorisini kullanabilirsiniz.

Öte yandan özel görelilik teorisi, birbirlerine göre sabit hızlarda yol alan insanlara dünyanın nasıl görüneceğiyle ilgilidir ve arkadaşınız da yukarı doğru ivmelenmektedir. Bu doğru. Ancak birçok zahmetli hesaplama yapmaya üşenmezseniz, arkadaşınızı ilk saniye içinde sabit bir hızda, bir sonraki saniye ise biraz daha yüksek bir sabit hızda yol alırken düşünebilirsiniz ve bu şekilde devam eder. Yani pratik bir yöntem olmasa da, arkadaşınızın ivmelenmesini her geçen saniye bir basamak artan sabit bir hız olarak düşünebilir; her basamakta arkadaşınızın uzay ve zamanına ne olduğunu anlamak için de özel görelilikten yararlanabilirsiniz.

Özel göreliliğe göre, hareket halindeki bir gözlemci için zaman yavaşlamaktadır. Bunun anlamı, arkadaşınız size göre hareket halinde olduğundan, zamanın onun için yavaşladığıdır. Durun bir dakika! Arkadaşınızın size göre hareket halinde olmasının nedeni, kütleçekimini hissediyor olmasıdır. Bunun anlamı da, kütleçekiminin zamanı yavaşlattığıdır! Aslında bu o kadar da şaşırtıcı olmamalı. Sonuçta, kütleçekimi yalnızca uzay-zamanın bükülmesiyse, kütleçekimini hissettiğimiz takdirde uzay ve zamanımızın bir şekilde çarpılmış olması da makul bir durumdur.

Kütleçekimi daha büyük olduğu takdirde (diyelim ki arkadaşınız daha kütleli bir gezegende olsun), arkadaşınızın size göre olan hızı da daha kısa bir zaman dilimi içerisinde artacaktır. Özel göreliliğe göre, birisi ne denli hızlı hareket ederse, zaman da bu kişi için aynı ölçüde yavaşlar. Dolayısıyla birisi ne kadar büyük bir kütleçekimi hissederse, bu kişi için zaman da aynı ölçüde yavaşlayacaktır. Bunun anlamı, bir ofis binasının zemin katında çalışıyorsanız, en üst katta çalışan meslektaşlarınıza göre daha yavaş yaşlanacağınızdır. Peki neden? Çünkü zemin katta dünyaya daha yakın olduğunuzdan, daha büyük bir

çekim hissedersiniz ve zaman da sizin için yavaşlamış olur.

Fakat dünyanın kütleçekimi oldukça zayıftır. Bu zayıf kütleçekimi, gezegenimizdeki en yüksek yapıda bile en alt katla en üst kat arasında zamanın akış farkının ölçülmesini neredeyse imkânsız kılmaktadır. Bu anlamda, bölümün başlangıcında bahsettiğimiz ikizlerin durumu elbette ki abartılı bir örnektir. Bununla birlikte, evrende çok daha büyük kütleçekimine sahip yerler de vardır.

Bu yerlerden biri, beyaz cüce halindeki bir yıldızın yüzeyidir. Bir beyaz cücenin yüzeyindeki kütleçekimi, güneşin kütleçekiminden bile daha kuvvetlidir. Einstein'ın kütleçekim teorisi, bu yıldızlar için zamanın bize göre bir parça daha yavaş akması gerektiğini öngörür. Bu türden bir öngörüyü test etmek imkânsız görünebilir. Oysa doğa bize bir iyilik yaparak, beyaz cücelerin yüzeyi üzerine "saatler" yerleştirmiştir. Bu saatler, atomlardır.

Atomlar ışık verir. Işık, sudaki dalgalar gibi, aşağı-yukarı hareketlerde bulunan bir dalgadır; sodyum ya da hidrojen gibi belli elementlerin atomları, o elemente özgü bir ışık verirler. Işığın bir saniye içindeki kırpışma sayısı elementin karakteristik özelliğidir. Bu kırpışmalar bir saatin tiktakları olarak düşünülebilir (aslına bakılacak olursa, saniye, belli türdeki bir atom tarafından dışa verilen ışığın kırpışmalarıyla tanımlanır).

Atomların bu özelliği, kütleçekiminin zaman üzerindeki etkisini anlamamıza nasıl yardımcı olabilir? Teleskoplar aracılığıyla, beyaz cücelerdeki atomlardan ışık alabilir ve beyaz cüce üzerindeki hidrojen atomunun bir saniye içindeki kırpışma sayısıyla, dünya üzerindeki hidrojenin kırpışma sayısını karşılaştırabiliriz. Bulduğumuz sonuç, beyaz cüce üzerindeki ışığın saniye başına biraz daha az kırpıştığı olur. Işık daha ağırkanlıdır. Zaman daha yavaş

akmaktadır![4] Burada, Einstein'ın genel görelilik teorisinin doğrudan teyit edildiğini görüyoruz.

Beyaz cücelerin sahip olduğundan daha büyük kütleçekimine sahip olan nötron yıldızları da bulunuyor. Bu büyük kütleçekiminin sonucu olarak, bir nötron yıldızının yüzeyinde zaman, dünyaya nazaran bir buçuk kat daha yavaş akar.

Genel Göreliliğin Sonuçları

Zamanın genleşmesi, Einstein'ın genel görelilik teorisinin çığır açıcı öngörülerinden yalnızca birisidir. Bir diğeri ise az önce değindiğimiz, kütleçekimsel dalgaların mevcudiyetidir. Bu dalgaların var olduğunu biliyoruz, çünkü astronomlar, en azından biri nötron yıldızı olan bir yıldız çiftini gözlemlediklerinde, bu yıldızların birbirlerine doğru sarmal oluştururlarken enerji kaybettiklerini fark etmiştir. Bu enerji kaybı ancak kütleçekimsel dalgalar tarafından taşınıyor oldukları takdirde açıklanabilir.

Günümüzde, kütleçekimsel dalgaların doğrudan tespit edilebilmesi üzerinde çalışılıyor. Bu dalgaların, uzayı dönüşümlü olarak gerip sıkıştırmaları gerektiği düşünüldüğünden, dalgaları tespit etmek için kurulan deney düzeneklerinde birkaç kilometre uzunluğunda dev "cetveller" kullanılıyor. Cetveller ışıktan yapılıyor olsa da, bu düzeneğin ardındaki fikir oldukça basit – kütleçekimsel dalgalar bizi geçerken, cetvellerin uzunluklarında oluşan değişiklikleri tespit etmek.

Einstein'ın teorisinin, şu ana dek üzerinde yorum yapmadan geçtiğimiz bir diğer öngörüsü de, ışığın kütleçekimi tarafından eğilmesidir. Bu eğilmenin nedeni, ışığın dört boyutlu uzay-zamanın bükülmüş coğrafyasını takip

[4] Teknik nedenlerden ötürü, bu etki kütleçekimsel kırmızıya kayma olarak adlandırılmaktadır.

etmek durumunda olmasıdır. Her ne kadar Newton'un kütleçekim kanunu bu türden bir etkinin mevcudiyetini ortaya koymasa da, bu kanun –ışık da dahil olmak üzere– tüm enerji türlerinin etkin kütleye sahip olduğuna yönelik özel görelilik fikriyle birleştirildiğinde, bunun böyle olması gerektiği ortaya çıkıyor. Işık, güneş gibi büyük kütleli bir cismi geçerken, yıldızın kütleçekiminin etkisine maruz kalarak rotasından hafif bir şekilde sapar.

Elbette özel görelilik Newton'un kütleçekim kanunuyla uyumsuz olduğundan dolayı, ışığın eğilmesine yönelik bu öngörüye şüpheyle yaklaşmak gerekiyor. Aslına bakılacak olursa, doğru olan teori –yani genel görelilik– ışığın rotasının iki kat eğrileceğini öngörmektedir.

Bu iki kat eğilme, eşdeğerlik ilkesindeki ince bir noktayı öne çıkarmaktadır. Mekik kabininin içinde lazer ışınını yatay olarak yansıyacak şekilde açan ve lazerin aşağı doğru eğrildiğini gören astronotu hatırlayalım. Dünya üzerindeki bir odanın içinde yerçekimine maruz kalmadığını (yani bir mekikte olduğunu) bilmesinin hiçbir yolu olmadığından, astronotun, yerçekiminin ışığın rotasını eğdiğini düşünmesini makul sayarız. Fakat astronotun dünya yüzeyinde mi, yoksa bir uzay mekiğinin içinde mi olduğunu anlaması aslında imkân dahilinde.

İvmelenen roketin içinde astronotun ayaklarını zemine sabitleyen kuvvet, kabinin neresinde duruyor olursa olsun, onu dikey düzlemde aşağı doğru iter. Öte yandan dünya yüzeyinde nerede durduğunuz önemlidir, çünkü yerçekimi her şeyi dünyanın merkezine doğru çeker. Dolayısıyla yerçekimi İngiltere'de bir yönden çekim uygularken, Yeni Zelanda'da bu çekim zıt bir yönde olacaktır. Bir anlamda, İngilizler için Yeni Zelandalılar baş aşağı durmaktadır. Yeniden kabinimize dönelim. Kütleçekimi kabinin her yerinde az çok aynıdır, çok ciddi bir değişik-

lik olmaz. Yine de yeterince hassas ölçüm aletleriyle astronotumuz kütleçekimindeki değişimleri tespit ederek, uzayda ivmelenen bir mekiğin içinde mi, yoksa dünya yüzeyinde mi olduğunu söyleyebilir.

Bu durum eşdeğerlik ilkesini geçersiz kılar ve genel göreliliğin temelden çökmesine neden olur, öyle değil mi? Böyle düşünüyor olabilirsiniz, ancak bir kütleçekim teorisi oluşturmak için, eşdeğerlik ilkesinin uzayın küçük alanlarına uygulanabilir olması yeterlidir ve de bu aşırı ölçüde küçük, yeri belli olan uzay parçacıkları için kütleçekimi yön değişikliklerini asla tespit edemezsiniz.

Bütün bunların, Einstein'ın teorisinin, Newton'un teorisine göre, ışığın sapmasını iki kat fazla öngörmesiyle ne bağlantısı var? Dünya üzerindeki bir odayı kateden lazer ışığının aşağı doğru sapacağını belirledik. Ve bu sapma az çok, Newton'un yerçekimi teorisinin öngördüğü kadardır. Şimdi de odanın serbest düşüşte olduğunu (mesela bir uçaktan aşağı atıldığını) ve astronotun aynı deneyi gerçekleştirdiğini düşünelim. Serbest düşüşte kütleçekiminin hissedilmediğini biliyoruz. Bu nedenle ışık huzmesi odayı yatay eksende aşmalı ve kesinlikle rotasından sapmamalıdır. Ancak odanın her yeri kusursuz bir serbest düşüş konumunda değildir. Dünyanın yerçekimi odanın bir köşesinde bir yöne doğru çekerken, diğer bir köşede bir başka yöne doğru çeker; oda havada düşerken yerçekimi her yerde aynı ölçüde sönümlenmez. Bu nedenden dolayı, astronotun gerçekte gördüğü, ışık huzmesinin az çok dünya üzerindeki bir odada olduğu gibi aşağı doğru sapacağıdır. Bu iki etki bir araya geldiğinde, Newton'un yerçekimi teorisi ile özel görelilik arasındaki fark ortaya çıkar.

Bu yüzden, uzak bir yıldızdan gelen ışık dünyaya doğru yol alırken güneşe yakın bir noktadan geçecek olursa, ışığın rotası Newton'un tahmin ettiğinden iki kat daha fazla

sapar. Bu etki bir yıldızın konumunu diğer yıldızlara göre hafif şekilde kaydırabilir. Örneğin bu durum, her ne kadar gün ışığında fark edilmesi imkânsız olsa da, ayın parlak güneş diskini kapattığı tam tutulma zamanında gözlemlenebilir. İngiliz astronom Arthur Eddington'ın, 29 Mayıs 1919'da gerçekleşecek tutulmayı gözlemlemek için gittiği Batı Afrika kıyısındaki Principe adasında çektiği fotoğraflar, yıldız ışığının gerçekten de genel görelilik teorisinin öngördüğü ölçüde yolundan saptığını teyit etmiştir.

Eddington'ın gözlemleri Einstein'a, "Newton'u çürüten adam" unvanını kazandırdı. Ancak genel göreliliğin isabetli öngörüleri bununla bitmeyecekti. Newton gezegenlerin güneşin etrafında daire değil, elips şeklinde yörüngeler çizdiğini teorik olarak ortaya koyarak, bunun, kütleçekim kuvvetinin ters kare kanunuyla azalmasının doğrudan sonucu olduğunu kanıtlamıştı. Diğer bir deyişle, güneşten iki kat uzakta olduğunuzda, kütleçekim kuvveti dört kat zayıflar; üç kat uzaklaştığınızda ise dokuz kat ve böyle devam eder.

Görelilik ise her şeyi değiştiriyor. Öncelikle şunu belirtelim; yalnızca kütle enerjisi değil, tüm enerji türleri kütleçekimi üretir. Kütleçekiminin kendisi de bir enerji türüdür. Büzülen trombolinin içerdiği elastik enerjiyi düşünün. Sonuçta, kütleçekimi bir enerji türü olduğundan, güneşin kütleçekiminin kendisi de kütleçekimi yaratır. Bu etki küçüktür ve güneşin kütleçekiminin büyük bir kısmı halen kütlesinden gelmektedir. Bununla birlikte, kütleçekiminin çok etkili olduğu güneşe yakın bölgelerde, kütleçekiminin kendisi de küçük bir katkıda bulunur. Dolayısıyla güneşin yakınlarındaki bir yörüngede olan cisimler, ters kare kanununun ortaya koyduğundan biraz daha fazla kütleçekimi hisseder.

Şimdi asıl noktamıza geliyoruz. Gezegenler yalnızca, ters kare kanununa riayet eden bir kuvvet tarafından çekildikleri zamanlarda eliptik bir yörünge izler. Bu, Newton'un bir keşfiydi. Görelilik ise kütleçekiminin tam olarak ters kare kanununa riayet etmediğini öngörmektedir. Aslına bakılacak olursa, Newtoncu kütleçekim kanunundan farklı başka etkiler de söz konusu. Örneğin kütleçekiminin uzayda mesafe katetmesi belli bir zaman alır. Dolayısıyla hareket halindeki bir gezegenin herhangi bir anda hissettiği kütleçekimi, daha önceki konumuna dayanır. Buradan çıkardığımız sonuç, gezegenlerin tekdüze eliptik rotalar değil, uzaydaki yönelimi hafifçe değişen ve gül şekli verilmiş bir rozeti andıran yörüngeler izlediğidir. Bu etki güneşe uzak noktalarda fark edilemez. Etkinin en fazla olduğu yer, kütleçekimin en büyük olduğu yer olan güneşin yakınlarıdır.

Gerçekten de, en içteki gezegen olan Merkür'ün yörüngesinde tuhaf bir durum söz konusu. Einstein'ın 1915 yılında kütleçekim teorisini yayımlamasından bir süre önce, astronomlar Merkür'ün yörüngesinin uzayda hafifçe bir rozet şekli çizdiği gerçeği karşısında şaşkınlığa sürüklenmişlerdi. Bu etkinin nedeni büyük ölçüde Venüs ve Jüpiter'in kütleçekimsel kuvvetinden kaynaklanmaktadır. Tuhaf olansa, Venüs ve Jüpiter orada olmasaydı bile Merkür'ün yörüngesinin yine de rozet şeklini çizeceğidir. Bu küçük bir etkidir. Öte yandan her ne kadar Merkür güneşin etrafındaki bir turunu 88 günde tamamlıyor olsa da, rozet şeklinin ortaya çıkışı 3 milyon yılı bulmaktadır. Ve de bu, tam olarak Einstein'ın teorisinin öngördüğü bir durum. Genel göreliliği kullanarak, Einstein, Merkür'ün yörüngesini en ince detayına kadar açıklayabilmiştir. Bu başarılı öngörüyü de göz önüne alacak olduğumuzda,

Einstein'ın doğru kütleçekim teorisini ortaya koyduğuna dair bir şüphe kalmamaktadır.[5]

Genel Göreliliğin Tuhaflıkları

Genel görelilik inanılmaz ölçüde şık bir teoridir. Bununla birlikte, teorinin, belli bir kütlenin dağılımının neden olduğu uzay-zamandaki bükülmeyi saptamak gibi bazı durumlara uygulanması da aynı ölçüde zordur. Bunun nedeni teorinin döngüsel olmasıdır. Madde uzay-zamana nasıl bükülebileceğini söyler. Bükülen uzay-zaman da maddeye nasıl hareket edeceğini. Hareket eden madde, uzay-zamana bükülmesini nasıl değiştireceğini söyler ve bu durum sonsuza dek sürer. Yani teorinin merkezinde bir tür yumurta-tavuk paradoksu bulunmaktadır. Fizikçiler bu durumu nonlineerlik olarak adlandırıyor ve nonlineerlik teorisyenler için ciddi bir sıkıntı kaynağı.

Nonlineerliğin ortaya çıktığı durumlardan birini, kütleçekiminin de bir kütleçekimi kaynağı olduğu gerçeğinde gördük. Eğer kütleçekimi daha fazla kütleçekimi üretebiliyorsa, üretilen bu ilave kütleçekimi de yeniden kütleçekimi oluşturabilir ve bu böyle devam eder. Ancak üretilen ilave kütleçekimleri aslında o kadar zayıftır ki, bu artış bir yerde durur. Neyse ki kütleli bir cisim tarafından üretilen kütleçekimi genellikle iyi huyludur. Genellikle ama her zaman değil.

Bazı büyük kütleli yıldızlar yaşamlarını harikulade bir şekilde tamamlar. Yıldız kendi kütleçekimiyle çökmeye yönelimini, içindeki sıcak gazın dışarı doğru uyguladığı basınçla dengeler. Fakat bu basınç ancak yıldız ısı ürettiği sürece geçerli olacaktır. Isı üretmede kullandığı

[5] Ya da en azından şu an için kullanılabilecek en doğru teori diyelim. Çünkü genel göreliliğin de, kütleçekimi üzerine söylenmiş son söz olmadığı düşünülüyor.

yakıt tümüyle tükendiğinde, yıldız da büzülmeye başlar. Bir sonraki aşama ise genellikle başka bir tür basıncın devreye girerek yıldızı bir beyaz cüceye ya da nötron yıldızına çevirmesidir – yani aşırı yoğunluğa sahip yıldız korlarına. Fakat yıldız çok büyük bir kütleye sahipse ve kütleçekimi de çok kuvvetliyse, hiçbir kuvvet yıldızın tek bir noktaya dönüşene dek büzülmesini engelleyemez. Fizikçilerin bildiği kadarıyla, bu türden yıldızlar kelimenin tam anlamıyla mevcudiyetten silinir. Ancak arkalarında bir hatıra bırakmayı da ihmal etmezler: kütleçekimlerini.

Şu anda bahsettiğimiz şey, yani kara delikler genel göreliliğin tüm öngörüleri içinde belki de en tuhaf olanıdır. Kara delik, ışığın bile kaçamayacağı kadar kuvvetli bir kütleçekiminin geçerli olduğu uzay-zaman kesimidir. Zaten ışık yaymıyor oluşları nedeniyle kara delik olarak adlandırılırlar. "Uzay-zaman kesimi" dememizin sebebi ise yıldızın kütlesinin tamamen ortadan kaybolmuş olmasıdır.

Kütle olmadan kütleçekimi nasıl olabilir? Durum şu ki, kütleçekimine yol açan sadece kütle değil, aynı zamanda enerjidir de. Kara delik için konuşacak olursak, kendi kütleçekimi daha fazla kütleçekiminin oluşmasına neden olur, bu ilave kütleçekimi de yeniden kütleçekimi oluşturur ve kara delik, kendisini ayakkabı bağlarından çekerek havada duran bir adam gibi, varlığını sürdürür. Uzay-zaman açısından, kara delik kelimenin somut anlamıyla bir deliktir. Güneş gibi bir yıldız kendisini çevreleyen uzay-zamanda yalnızca ufak bir çukur oluştururken, kara delik, bir kez içine düşen cismin bir daha asla kurtulamadığı dipsiz bir kuyu meydana getirir.

Nobel ödüllü fizikçi Subrahmanyan Chandrasekhar kara deliklerle ilgili olarak, "Doğanın kara delikleri evrendeki en mükemmel makroskopik cisimlerdir, kara delikle-

ri oluşturan elementler yalnızca uzay ve zaman kavramlarımızdır," demiştir.[6]

Ultra-büyük kütleçekimleri nedeniyle, kara delikler genel göreliliğin en dramatik etkilerini göstermektedir. Çevrelerinde "olay ufku" (*event horizon*) olarak bilinen bir yüzey bulunur. Bu yüzey, kara deliğe yaklaşan cisimlerin kurtulma şansının kalmadığı sınırdır. Olay ufkuna yaklaştığınızda, ardınızdan gelen ışık gözlerinize ulaşmadan önce kara deliğin içinde eğrileceğinden dolayı, kafanızın arkasını görebilirsiniz. Eğer bir şekilde olay ufkunun hemen dışında asılı kalma şansımız olsaydı, zaman bizim için öylesine yavaş akardı ki, teoride evrenin tüm geleceğini, gözlerimizin önünden hızlı çekim geçen bir film gibi seyredebilirdik.

Bir kara deliğin büyük kütleçekiminin altında zamanın, evrenin hiçbir noktasında olmadığı kadar yavaş akıyor olmasının çarpıcı bir sonucu var. Siz çok uzaktayken, bir arkadaşınızın kara deliğin çok yakınlarında takıldığını düşünün. İkiniz arasındaki zamanın akış farkından ötürü, siz pazartesiden cumaya ulaştığınız arada, arkadaşınız ancak salı gününde olacaktır. Bunun anlamı, kendinizi arkadaşınızın bulunduğu noktaya ışınlamanın bir yolunu bulursanız, cuma gününden salı gününe dönmüş olacağınızdır. Yani zamanda geriye doğru yolculuk etmiş olursunuz.

---

6 "Kara delik" ifadesi ilk kez 1965 yılında John Wheeler tarafından kullanıldı. 1965 öncesinde konu üzerine çok nadir olarak bilimsel makale hazırlanıyordu. Ancak "kara delik" terimiyle birlikte bu alanda bir patlama yaşandı; hatta terim gündelik dilimize kadar girdi. İnsanlar bürokrasinin kara deliklerinde kaybolan şeylerden bahsetmeye başladı. Bu terim, bilimdeki bir görüngüyü tanımlamak için doğru kelimeler bulunduğunda olabileceklerin mükemmel bir örneğidir. Bulunan doğru sözcükler insanların uslarında canlı bir resim oluşturduğunda, araştırmacılar da bu konuya ister istemez çekilmektedir.

Aslında kendinizi bir noktadan diğerine ışınlamanın bir yolu yok değil. Bu yol, solucan delikleri. Einstein'ın görelilik teorisi, uzay-zaman içerisinde tünele benzetilebilecek kestirmelerin, bir diğer ifadeyle "solucan deliklerinin" varlığını öngörür. Bu türden bir solucan deliğinin bir ağzından girip, arkadaşınızın yakınlarındaki bir başka ağzından çıktığınızda, zamanın içinde geriye doğru yolculuk ederek cuma gününden salı gününe gitmeniz mümkün olabilir.

Solucan delikleriyle ilgili sorun, itici kütleçekimine (*repulsive gravity*) sahip bir madde tarafından açık tutulmadığı sürece, ağızlarının anında kapanacağıdır. Kimse bu türden bir "egzotik maddenin" evrende var olup olmadığını bilmiyor. Yine de Einstein'ın kütleçekim kanununun zamanda yolculuk olasılığını yok saymadığına dair olağanüstü gerçek gözümüzün içine bakıyor.

Öte yandan genel göreliliğin tanıdığı zaman makineleri ile H.G. Wells gibi bilimkurgu yazarlarının anlattıkları arasında bazı farklılıklar söz konusu. Öncelikle, zamanda bir mesafeyi katetmek için uzayda da bir mesafe katetmeniz gerekir. Yalnızca zaman makinenizin içine kurulup, bir kolu çekip kendinizi bir anda 1066'da bulamazsınız. Diğer bir önemli farklılık ise kullandığınız zaman makinesinin icat edildiği zamandan öncesine gidemeyeceğinizdir. Bir dinozor safarisine çıkmak istediniz diye, bugün bir zaman makinesi inşa etmeniz pek işinize yaramaz. Dünyadışı varlıklar ya da çok zeki dinozorlar tarafından inşa edilerek terk edilmiş bir makine bulmanız gerekir. Yani 65 milyon yıl önce inşa edilmiş bir zaman makinesi!

Teorisyenler için zaman makinelerinin gerçek olabilme olasılığı çok rahatsız edici bir durum. Zamanda yolculuk mümkünse, her cinsten imkânsız durum (ya da paradoks diyelim) işin içine burnunu sokabilir. Bu paradokslardan

en ünlü olanı, daha önce de belirttiğimiz, büyükbaba paradoksudur. Sorun katilin, büyükbabasını vurduğu takdirde, zamanda geri giderek bu kirli emelini gerçekleştiremeyeceğidir. Çünkü o zaman asla doğmamış olur!

Bilim adamlarını utandıran bu türden sorular, İngiliz fizikçi Stephen Hawking'i, kronolojik tutarlılık teorisini öne sürmeye itti. Aslında tutarlılık teorisi, temel olarak, zamanda yolculuğu yasaklayan varsayımsal bir fizik kanununa verilmiş süslü bir isimden başka bir şey değil. Hawking'e göre, henüz keşfedilmemiş bir fizik kuralı, zamanda yolculuğa engel olmak için müdahalede bulunuyor olmalıdır. Bu fizik kanununa dair herhangi bir sağlam kanıtı olmasa da, iyi bir sorusu olduğuna şüphe yok: "Peki o zaman gelecekten gelen turistler nerede?"

Einstein'ın kendisi de, her ne kadar kütleçekim kanunu mümkün olduğunu gösterse de, zamanda yolculuğun olası olduğuna hiçbir şekilde inanmıyordu. Ancak Einstein'ın, teorisinin iki önemli öngörüsü konusunda yanıldığı bugün biliniyor. Öncelikle, kara deliklerin varlığına inanmıyordu. Bugün ise kara deliklerin var olduğuna dair sağlam kanıtlarımız var. Einstein, evrenin kökeniyle ilgili olarak teorisinin kendisine göstermeye çalıştığı şeye de asla inanmamıştı. Yani evrenin Büyük Patlama'yla oluştuğuna.

10

ŞAPKADAN ÇIKAN TAVŞAN

Evrenin Ezelden Beri Var Olmadığını, 13,7 Milyar Yıl Önce Dev Bir Patlamayla Oluştuğunu Nasıl Öğrendik

Şapkadan beyaz bir tavşan çıktı. Ancak inanılmaz büyüklükte bir tavşan olduğundan, numaranın tamamlanması milyarlarca yıl sürdü.
Jostein Gaarder

Bunlar yüksek teknoloji ürünü gözlükler. Normalde insan gözünün göremediği her türden ışığı görmek için üretilmiş. Yalnızca çerçevesi üzerindeki bir düğmeyi döndürerek gözlüğünüzü "ayarlayabilirsiniz." Yıldızlarla kaplanmış soğuk bir gecede, bu gözlükleri de yanınıza alarak kendinizi dışarı atıyorsunuz.

Gördüğünüz ilk şey, güneşten çok daha sıcak yıldızlardan kopup gelen ışıkların kapladığı, morötesi bir gökyüzü oluyor. Aşina olduğunuz bazı yıldızlar ortalıktan kaybolmuşken, daha önce hiç görmediğiniz yenileri, etraflarında bulutsu oluşumlarla görüntüye dahil olmuş. Ancak gökyüzünün en etkileyici tarafı, çıplak göz için de etkileyiciliğini koruyan özelliği.

Gökyüzü çoğunlukla siyah.

Eliniz gözlüğünüzün düğmesine gidiyor.

Artık kara delikler gibi egzotik cisimlerin üzerinde girdap oluştururken, yüzbinlerce dereceye ulaşacak kadar ısınan gaz tarafından yayılan yüksek enerjili ışığı, yani X-ışınlarını görebiliyorsunuz. Bir kez daha, gökyüzünün en çarpıcı tarafı, çoğunlukla siyah olması.

Düğmeyi ters yönde tekrar çevirdiğinizde, morötesi ve normal modu geçerek, gözlüğünüz kızılötesi moduna geçiyor. Artık, güneşten çok daha soğuk yıldızlardan yayılan ışığı görebiliyorsunuz. Şimdi baktığınız gökyüzü, sönmüş yıldızlardan geriye kalan korlarla süslenmiş durumda. Çok yakın zamanlarda doğdukları için, halen titrek bir ışık veren plasenta gazlarıyla sarılı durumda yıldızlara ve ölüm ıstırabı çeken şişmiş kırmızı devlere bakıyorsunuz. Ancak gökyüzü yeni bir yıldız nüfusu tarafından aydınlanmış olsa da, en çarpıcı özelliği aynı. Çoğunlukla siyah.

Düğmeyi döndürmeye devam ediyorsunuz. Artık, radarlarda, mobil telefonlarda ve fırınlarda kullanılan mikrodalgalara bakıyorsunuz. Ancak tuhaf bir şey oluyor. Yoksa gökyüzü mü daha bir parlaklaştı? Hatta yalnızca bir parçası da değil, tümü!

Gözlüğü çıkarıp gözlerinizi ovuşturuyor ve ardından yeniden takıyorsunuz. Fakat değişen hiçbir şey yok. Şimdi gökyüzü, bir ucundan diğer ucuna, inci gibi bir

beyazlıkla aydınlanıyor. Düğmeyi çevirmeye devam ediyorsunuz, ancak değişen tek şey, gökyüzünün daha da parlaması oluyor. Sanki uzayın tamamı kızışıyor. Kendinizi dev bir ampulün içinde hissediyorsunuz.

Yoksa gözlükler mi bozuk? Hayır hayır, mükemmel durumdalar. Gördüğünüz şey, kozmik ardalan ışımasından (*cosmic background radiation*) başka bir şey değil; yani evrenin 13,7 milyar yıl önce doğduğu ateştopundan geriye kalan gösteriye bakıyorsunuz. İnanılmaz bir şekilde halen uzayın her bir gözeneğine nüfuz edebiliyor. Fakat evrenin genişlemesiyle epey bir soğumuş durumda olduğundan, görünebilir ışık olarak değil, düşük enerjili mikrodalgalar olarak kendisini açığa vuruyor. İster inanın ister inanmayın, ardalan ışıması günümüzün evrenindeki tüm ışığın yüzde 99'unu oluşturmaktadır. Ve aynı zamanda, evrenin devasa bir patlamayla oluştuğuna yönelik tartışılmaz bir kanıttır.

Kozmik ardalan ışıması 1965 yılında keşfedildi. Ancak Büyük Patlama'ya yönelik fikrimiz daha öncesine dayanıyor. Aslında ilk adım Einstein tarafından atıldı.

Evrenin Bilimi

Einstein'ın kütleçekim, yani genel görelilik teorisi kütlelerin nasıl diğer kütlelere çekildiğini açıklamaktadır. Bildiğimiz en büyük madde bileşimi, evrenin kendisidir. Hiçbir zaman bilimin can sıkıcı ciddi sorunlarından kaçmayan bir bilim adamı olarak, Einstein 1916 yılında kütleçekim teorisini evrenin tümü için geçerli olacak şekilde yeniden ortaya koydu. Böylece evrenin kökeni, evrimi ve nihai kaderi üzerine yoğunlaşan evrenbilim alanının da (bir diğer ifadeyle, her şeyin biliminin) kapıları açılmış oldu.

Her ne kadar Einstein'ın kütleçekim teorisinin ardındaki fikirler insanı aldatacak ölçüde basit olsa da, teorinin matematiksel karşılığı kesinlikle basit sayılamaz. Maddenin belli bir dağılımının uzay-zamanı tam olarak nasıl büktüğü konusu üzerinde çalışmak aslında ciddi anlamda zordur. Mesela uzay-zamanda, dönmekte olan bir kara deliğin neden olduğu çarpılmanın hesaplanması, ancak Einstein'ın genel görelilik teorisini yayımlamasından bir yarım yüzyıl sonra, 1962 yılında, Yeni Zelandalı fizikçi Roy Kerr tarafından gerçekleştirilebildi.

Tüm evrenin uzay-zamanı nasıl büktüğü hakkında fikir yürütmek, maddenin uzayda nasıl dağıldığına yönelik basitleştirici varsayımlar yapmaksızın imkânsız olurdu. Einstein, gözlemcinin evrenin neresinde bulunduğunun bir önemi olmadığını varsaydı. Diğer bir ifadeyle, nerede bulunursanız bulunun evrenin aynı özelliklere sahip olduğunu ve nereden bakarsanız bakın, her yönden az çok aynı görüneceğini.

1916 yılından itibaren yapılan astronomik gözlemler bu varsayımların geçerli olduğunu göstermiştir. Evrenin yapı taşları (o günlerde Einstein ve diğer bilim adamlarının farkında olmadığı şekilde) galaksilerdir, yani Samanyolu gibi büyük yıldız adaları. Modern teleskoplar galaksilerin evrene neredeyse eşit bir şekilde dağıldığını göstermektedir. Bu nedenle de, bir galaksiden gördüğünüz manzara, başka bir galaksiden gördüğünüzle az çok aynı olacaktır.

Teorisini bir bütün olarak evren üzerine uygulamasının ardından Einstein'ın sonucu, evrenin tüm uzay-zamanının bükülmüş olması gerektiğiydi. Öte yandan bükülmüş uzay-zaman maddenin hareket etmesine yol açar. Genel göreliliğin esas mantrası budur. Yani hesaplar doğruysa, evrenin kesinlikle durağan olmaması gerekiyordu.

Ulaştığı sonuç Einstein'ın cesaretini kırdı. Kendisinden önce gelen Newton gibi, Einstein da, evrenin statik (durağan) bir durumda olduğuna ve evreni oluşturan öğelerin –o günlerde henüz bilinmeyen galaksilerin– boşluk içinde hareketsiz durduklarına inanıyordu.

Statik evren fikrinin bilim adamlarına çekici gelmesinin nedeni, böyle bir evrenin geçmişte de, gelecekte de aynı kalacak olmasıdır. Bu şekilde düşünüldüğünde, evrenin nereden geldiğine ya da nereye gittiğine dair zorlu sorular sormanın da alemi yoktur. Çünkü evrenin bir başlangıcı veya sonu yoktur. Evrenin şu anda olduğu gibi olmasının nedeni, her zaman bu şekilde olmasıdır, o kadar.

Öte yandan Newton'a göre, evrenin durağan olması için sağlanması gereken bir koşul söz konusuydu: Madde tüm yönlerde sonsuza kadar uzanıyor olmalıydı. Bu türden sonsuz bir kozmosta, her cismi bir tarafa çeken kütleçekim kuvveti, karşı yönden dengelenmiştir. Eşit kuvvetlerde iki takım tarafından çekilen bir halat gibi, madde de bu durumda hareketsiz kalmalıdır.

Einstein'ın teorisine göre ise evren sonsuz değil, sonluydu. Evrenin uzay-zamanı, basketbol topunun iki boyutlu yüzeyinin eşdeğeri olan, dört boyutlu bir yüzey oluşturacak şekilde, kendi üzerine eğilmiş durumdaydı. Bu türden bir evrende kütleçekim savaşımı hiçbir noktada mükemmel bir dengede değildi. Her cisim diğer bir cismi çektiğinden, evren kontrolsüz bir şekilde büzülmekteydi.

Einstein, statik evren fikrini kurtarmak için, kendi zarif teorisini bir noktadan bozmak zorunda kaldı ve teoriye, cisimleri birbirlerinden itip ayıran esrarengiz bir kozmik geri tepme kuvveti (*cosmic repulsion*) ekledi. Ayrıca bu kuvvetin ancak birbirlerinden inanılmaz ölçüde uzakta olan cisimler üzerinde etkili olduğunu öne sürerek, geri tepme kuvvetinin neden o güne dek dünyanın

çevresinde görülmediğini de açıklamış oldu. Cisimleri daimi olarak birbirlerine doğru sürükleyen kütleçekimine zıt bir doğrultuda çalışan kozmik geri tepme kuvveti, evrenin sonsuza dek durağan kalmasını sağlıyordu.

Genişleyen Evren

Fakat zaman içinde Einstein'ın içgüdülerinin yanlış olduğu ortaya çıktı. Evrenin yapı taşlarının galaksiler olduğunu ilk kez ortaya koyan Amerikalı astronom Edwin Hubble, 1929 yılında çarpıcı bir keşfin duyurusunu yaptı. Galaksiler, tıpkı kozmik şarapneller gibi, birbirlerinden uzaklaşmaktaydı. Durağan olmak bir kenara, evrenin boyutları sürekli genişliyordu. Einstein, Hubble'ın genişleyen evren keşfini duyar duymaz, kozmik geri tepme teorisinin geçersiz olduğunu açıklayarak, bunun hayatındaki en büyük yanılgısı olduğunu belirtti.[1] Einstein'ın esrarengiz geri tepme kuvveti, galaksilerin uzayda hareketsiz durmalarını hiçbir zaman sağlayamazdı. Arthur Eddington'ın 1930 yılında ortaya koyduğu gibi, durağan bir evren aslında niteliği gereği dengesiz ve kararsız bir durumdadır – tıpkı kendi ucu üzerinde dengede duran bir bıçak gibi. Genişlemeye veya daralmaya başlaması için küçücük bir etki yeterli olacaktır.

Bilim adamları Einstein'ın hatasını yinelemedi. 1922 yılında Rus fizikçi Aleksandr Friedmann, Einstein'in kütleçekim teorisini evren üzerinde geçerli olacak şekilde yeniden ele aldı ve evrenin ya genişlediği ya da daraldığı sonucuna ulaştı. Beş yıl sonra bağımsız bir araştırma sürecinin sonunda, Belçikalı Katolik papaz Georges-Henri

---

[1] George Gamow, *Dünya Çizgim* (*My World Line*, New York, 1970) isimli kitabında Einstein için şunları yazmıştır: "Bana, 'kozmolojik' terimini bilim dünyasına sunmasının hayatında yaptığı en büyük hata olduğunu söyledi."

Lemaitre tarafından ulaşılan sonuç da Friedmann'ınkiyle aynıydı.

John Wheeler'ın dediği gibi: "Einstein'ın kütleçekimini uzay-zamanın eğriliği olarak açıklaması, tüm zamanların en önemli öngörüsüne ulaşmamızı sağladı: Evrenin kendisi de hareket halindeydi." Einstein'ın kendi teorisindeki bu inanılmayacak ölçüde önemli mesajı kaçırması ise ironik bir durumdur.

Büyük Patlama Evreni

Artık evrenin genişlediğini bildiğimizden dolayı, kaçınılmaz bir çıkarım da gözlerimizin önüne dek gelmiş oldu: O halde evrenin boyutları geçmişte daha küçüktü. Genişleme süreci, tıpkı geriye sarılan bir film gibi geçmişe doğru takip edildiğinde, astronomlar bundan 13,7 milyar yıl önce tüm evrenin düşünülebilen en küçük taneciğin içine sıkışmış olduğu sonucuna ulaştılar. Birbirlerinden uzaklaşan galaksilere bakarak, her ne kadar yaşlı olsa da, evrenin ezelden beri var olmadığı gerçeğini anladık. Zamanın bir başlangıcı vardı. Yalnızca 13,7 milyar yıl önce, tüm madde, enerji, uzay ve zaman, dev bir patlamayla, yani Büyük Patlama'yla oluşmuştu.

Kozmik genişlemenin şaşırtıcı ölçüde basit bir kanuna riayet ettiği anlaşıldı. Her bir galaksi, mesafesiyle doğru orantılı bir hızda Samanyolu'ndan uzaklaşıyordu. Yani Samanyolu'na iki kat daha uzak olan bir galaksi iki kat daha hızlı uzaklaşmaktaydı ya da 10 kat uzaktaki bir galaksi 10 kat hızlı. Hubble yasası olarak bilinen bu bağıntının, boyutları genişleyen ve hangi galaksiden bakarsanız bakın aynı görünen tüm evrenler için kaçınılmaz bir şekilde geçerli olduğu ortaya çıktı.

İçinde kuruüzüm taneleri olan bir kek düşünün. Eğer küçülerek bu üzüm tanelerinden herhangi birinin üzeri-

ne kurulabilecek olsaydınız, manzaranız diğer herhangi bir tanecikten görünecek manzarayla aynı olurdu. Dahası, kek bir fırına konarak kabartılsaydı, yalnızca diğer taneciklerin sizden uzaklaştığını görmekle kalmaz, aynı zamanda size olan mesafeleriyle doğru orantılı hızlarla uzaklaştıklarını da fark edebilirdiniz. Hangi üzüm taneciğinin üzerinde olduğunuzun da hiçbir önemi olmazdı; seyredeceğiniz manzara her zaman ve her noktadan aynı olurdu (buradaki tek şart, her zaman kenardan uzakta olmanız için, kekin büyük bir kek olmasıdır). Genişleyen bir evrendeki galaksiler de, kabarmakta olan bir kekin içine dağılmış üzüm tanelerine benzetilebilir.

Ancak tüm galaksilerin bizden uzaklaştığını gördüğümüzden dolayı, evrenin merkezinde bulunduğumuza ve Büyük Patlama'nın da kozmik arka bahçemizde gerçekleştiğine dair bir varsayımda bulunamayız. Samanyolu değil de bir başka galakside olsaydık da, göreceğimiz manzara değişmezdi; diğer tüm galaksiler yine bizden uzaklaşıyor olurdu. Büyük Patlama burada, şurada ya da evrenin herhangi bir noktasında olmamıştır. Aynı ayda her yerde olmuştur. 16. yüzyıl filozofu Giordano Bruno'nun dediği gibi: "Evrende, merkez ya da çevre olarak adlandırılabilecek bir yer yoktur, çünkü her yer merkezdir."

Aslına bakılacak olursa, Büyük Patlama terimi gerçekleşen olayı tanımlamada bir parça yanlış kaçıyor. Çünkü aşina olduğumuz hiçbir türden patlamayı andırır bir tarafı yok. Mesela bir dinamit infilak ettiğinde, patlama sabit bir noktadan çıkar ve etkisi, halihazırda var olan bir uzayda genişleyerek ilerler. Büyük Patlama ise tek bir noktada olmamıştır ve patlamadan önce var olan bir uzay yoktur! Her şey –uzay, zaman, enerji ve madde– Büyük Patlama'yla oluşmuş ve aynı anda her yönde genişlemeye başlamıştır.

Sıcak Büyük Patlama

Bir şeyi daha küçük bir hacmin içine (örneğin havayı bisiklet pompasının içine) sıkıştırdığınızda madde ısınır. Dolayısıyla Büyük Patlama da sıcak bir olaydır. Bunu ilk fark eden kişi Ukrayna kökenli Amerikalı fizikçi George Gamow oldu. Gamow'a göre, Büyük Patlama'nın sonrasındaki ilk anlarda evren, nükleer bir patlamanın yarattığı kor halindeki ateştopuna benzeyen bir şeydi.[2]

Ancak patlamanın ardından geçen saatler ve günler içinde, nükleer bir ateştopunun ısı ve ışığı atmosferin içine dağılıp yok olurken, Büyük Patlama'nın neden olduğu ateştopundan kaynaklanan ısı ve ışık için bu durum geçerli değildir. Evren, tanım olarak, var olan her şeyi içerdiğinden, patlamanın sonrasında oluşan ısı ve ışığın gidebileceği hiçbir yer yoktu. Bu yüzden, Büyük Patlama'nın kalıntıları evrenin içine sıkışıp kaldı. Bunun anlamı, Büyük Patlama'dan geriye kalan ısı ve ışığın, görünebilir bir ışık olarak değil (çünkü patlamanın ardından geçen zaman içinde evrenin genişlemesiyle birlikte büyük ölçüde soğumuştur), çok soğuk cisimlerin yaydığı görünmez bir ışık türü olan mikrodalgalar halinde var olması gerektiğidir.[3]

Gamow, Büyük Patlama'dan geriye kalan bu mikrodalgaları günümüz evreninin diğer ışık kaynaklarından ayırt edebilmenin mümkün olduğuna inanmıyordu. Ancak bu noktada yanılıyordu. Gamow'un araştırma görevlisi öğrencileri Ralph Alpher ve Robert Herman, Büyük

---

[2] Büyük Patlama terimi ilk kez 1949 yılında, bir BBC radyo programında İngiliz astronom Fred Hoyle tarafından kullanılmıştır. Tuhaf olansa Hoyle'un hayatı boyunca Büyük Patlama'ya asla inanmamış olmasıdır.

[3] Mikrodalga aynı zamanda fırınlar ve radar vericilerinde kullanılan magnetronlar tarafından da yayınlanmaktadır.

Patlama'dan geriye kalan ısının, ayırt edilebilmesini sağlayacak iki özelliği olduğunu fark ettiler. Öncelikle, bu ısı Büyük Patlama'dan geldiğinden ve Büyük Patlama da her yerde aynı anda olduğundan ötürü, ışığın gökyüzündeki her yönden eşit miktarda gelmesi gerekiyordu. Ve ikinci olarak, ışığın tayfı, bir "kara cismin" tayfı gibi olmalıydı. Kara cismin ne olduğu önemli değil. Bizim için şu anda önemli olan, kara cisim tayfının kendine özgü bir "parmak izine" sahip olması.

Her ne kadar Alpher ve Herman, Büyük Patlama'dan geriye kalan ısı ve ışık olan kozmik mikrodalga ardalan ışımasının varlığını 1948 yılında öngörmüş olsalar da, keşif ancak 1965 yılında ve kazayla olabildi. New Jersey, Holmdel'deki Bell Labs'te görevli iki genç astronom olan Arno Penzias ve Robert Wilson, önceki yıllarda ilk modern iletişim uydusu olan *Telstar*'la haberleşmek için kullanılan boynuz şeklindeki mikrodalga anteni üzerinde çalışırlarken, gökyüzünde her yönden eşit olarak gelen esrarengiz bir mikrodalga "statik" tıslaması yakaladılar. Bu sinyalin ne olduğunu anlamaya çalıştıkları sonraki aylar içinde, bunun, yakınlardaki New York kentinden gelen bir radyo statiği, atmosferde nükleer bir test, hatta mikrodalga boynuzunun iç kısmını kaplamış olan güvercin dışkıları olabileceğini bile düşündüler. Farkında olmadıkları nokta ise Hubble'ın evrenin genişliyor olduğunu ortaya koymasından sonra, en önemli kozmolojik keşfi yapmış olduklarıydı. Evrenin oluşumundan geriye kalan ısı ve ışık, evrenimizin gerçekten de sıcak, yoğun bir halde hayatına başladığına ve o andan itibaren sürekli olarak genişleyerek soğuduğuna dair çok kuvvetli bir kanıttı.

Penzias ve Wilson, yakaladıkları esrarengiz statiğin Büyük Patlama kaynaklı olduğunu iki yıl kabul etmediler. Bununla birlikte, Büyük Patlama'dan geriye kalan ısı ve

ışığı keşfetmiş oldukları gerçeği sabitti ve 1978 Nobel Fizik Ödülü'yle onurlandırılmaktan kaçamadılar.

Kozmik ardalan ışıması evrendeki en eski "fosil"dir. Doğrudan Büyük Patlama'dan gelmektedir ve evrenimizin 13,7 milyar yıl önceki bebeklik zamanlarına dair çok değerli bilgiler içerir. Kozmik ardalan ışıması aynı zamanda doğadaki en soğuk şeydir de; ulaşılabilecek en düşük sıcaklık olan mutlak sıfır noktasının yalnızca 2,7 derece üzerindedir; yani -270 derecede.

Zaman içinde, ardalan ışımasının evrenimizin en çarpıcı özelliklerinden biri olduğu anlaşıldı. Gece gökyüzüne baktığımızda, en önemli nokta çoğunlukla siyah olmasıdır. Öte yandan gözlerimiz mikrodalga ışınlarına duyarlı olsaydı, göreceklerimiz değişirdi. Siyah olmak bir kenara, bir uçtan diğer uca tüm gökyüzü, bir ampulün içi gibi bembeyaz olurdu. Büyük Patlama'dan milyarlarca yıl sonra bile uzayın tümü halen Büyük Patlama ateştopundan geriye kalan ısıyla yumuşak bir şekilde ışımaktadır.

Aslına bakılacak olursa, boş uzayın küpşeker boyutlarındaki bir kesiti kozmik ardalan ışımasından 300 foton içerir. Evrendeki fotonların yüzde 99'u ardalan ışıması kaynaklıdır (kalan yüzde 1'lik kısım ise yıldızların ışığından gelir). Ardalan ışıması aynı anda her yerdedir. Herhangi bir kanala ayarlanmamış televizyondaki karlanmanın yüzde biri, Büyük Patlama'nın neden olduğu elektromanyetik gürültüden geriye kalandır.

Gecenin Karanlığı

Evrenin Büyük Patlama'yla oluştuğu gerçeği bir başka gizemi de açıklıyor: gökyüzünün gece neden karanlık olduğunu. Bu bilmeceyi çözen ilk kişi, 1610 yılında Alman astronom Johannes Kepler oldu.

Gözünüzün önüne, düzenli olarak serpiştirilmiş çam ağaçlarıyla sonsuza dek giden bir orman getirin. Düz bir çizgide koşarak ormanın içine dalacak olursanız, önünde sonunda bir ağaca çarpmanız kaçınılmazdır. Benzer şekilde, evren de düzenli bir şekilde serpiştirilmiş yıldızlarla kaplı durumdaysa ve sonsuza dek gidiyorsa, dünyanın neresinden bakacak olursanız olun, bakışlarınızın bir yıldıza takılacağı ortadadır. Bu yıldızlardan bazıları çok uzakta ve solgun olacaktır. Öte yandan uzakta olan yıldızlar, yakınlarda olanlara nazaran daha fazla sayıdadır. Aslında –önemli nokta da burası– uzakta olan yıldızların sayısı, solgunluklarını dengeleyecek şekilde artacaktır. Diğer bir ifadeyle, dünyadan belli bir mesafede olan yıldızlar, iki, üç ya da dört kat uzakta olan yıldızlarla aynı miktarda ışık verecektir. Dünyaya ulaşan tüm ışık toplandığında ise sonuç sonsuz miktarda ışık olur!

Bu açık bir şekilde anlamsız. Yıldızlar nokta benzeri şekiller değil, küçük disklerdir. Bu nedenle yakınlardaki yıldızlar, daha uzaklardaki yıldızlardan gelen ışığın bir kısmını keser. Tıpkı yakınlardaki çam ağaçlarının daha uzaklardaki ağaçların önünü kapatacağı gibi. Ancak bu etkiyi hesaba kattığımızda bile tüm gökyüzünün, aralarında hiç boşluk olmayacak şekilde yıldızlarla kaplanacağına dair kaçınılmaz sonuç ortadadır. Bu bağlamda, gece gökyüzünün karanlık değil, aksine tipik bir yıldızın yüzeyi gibi parıldıyor olması gerekir. Tipik yıldızla kastettiğimiz kırmızı cücedir; yani can çekişen bir kor gibi ışıldayan yıldızlar. Dolayısıyla geceyarısında gökyüzü kan kırmızısı olmalıdır. Ancak neden böyle olmadığı, 19. yüzyılın başlangıcında Alman astronom Heinrich Olbers tarafından ortaya konmuş ve bu durum Olbers paradoksu olarak adlandırılmıştır.

Olbers paradoksundan çıkışımız, evrenin ezelden beri var olmadığı, Büyük Patlama'yla oluştuğunu fark et-

memizle oldu. Evrenin oluşumunun ilk anından itibaren, uzaklardaki yıldızların ışıklarının bize ulaşması için yalnızca aradan 13,7 milyar yıl geçmiştir. Bu nedenle, şu anda gördüğümüz tüm yıldız ve galaksiler, ışıkları bize bu süre zarfında ulaşabilmiş olanlardır. Öte taraftan evrendeki yıldız ve galaksilerin birçoğunun bize olan mesafeleri, 13,7 milyar yıl gibi bir sürede ışıklarının bize ulaşamayacağı kadar büyüktür. Bu cisimlerin ışıkları halen yoldadır.

Gökyüzünün gece karanlık olmasının nedeni, evrendeki birçok cismin ışığının bize henüz ulaşmamış olmasından başka bir şey değildir. İnsanlık tarihinin ilk anlarından itibaren, evrenin bir başlangıç noktasının olduğu gerçeği, gecenin karanlık gökyüzünden gözlerimizin içine bakıp durmuş. Şapşallığımızdan bu kadar geç fark edebiliyoruz.

Bir milyar yıl kadar daha varlığımızı sürdürebilecek olursak, ışığı bize 14,7 milyar yılda ulaşan yıldız ve galaksileri de göreceğiz. Buradaki soru şu: eğer trilyonlarca yıl daha varlığımızı sürdürürsek ve çok daha uzaklardaki birçok yıldız ve galaksinin ışıkları bize ulaşırsa, gece gökyüzünün kırmızı olup olmayacağı. Cevap ise *hayır*. Kepler ve Olbers'in akıl yürütmesi yanlış bir varsayım olan yıldızların varlıklarını sonsuza dek sürdüreceği üzerine şekillenmişti. Ancak en uzun ömürlü yıldızlar bile 100 milyar yıl gibi bir sürede tüm yakıtlarını tüketerek yok olurlar. Bu da, dünyanın gökyüzünü tamamen kırmızıya boyamaya yetecek miktarda ışığın bize ulaşacağı zamandan çok daha önce gerçekleşecek bir şeydir.

Kara Madde

Büyük Patlama kendisiyle birlikte, evren üzerine inanılmaz düzeyde bir kavrayışı da getirdi. Ancak bunun yanı

sıra, çok ciddi soruları da önümüze koydu. Örneğin Samanyolu gibi galaksilerin nereden geldiği gibi soruları.

Büyük Patlama'nın neden olduğu ateştopu, madde ve ışık parçacıklarının bir karışımıdır. Madde, ışığı etkilemiş olmalıdır. Örneğin madde öbeklere ayrılmış olsaydı, bu durum kendisini Büyük Patlama'dan geriye kalan ışıkta yansıtırdı. Bir diğer ifadeyle, bu ışık gökyüzünün her yerinde aynı olmaz, bazı noktalarda diğer noktalara nazaran daha parlak olurdu. Patlamadan geriye kalan ısı ve ışığın tüm gökyüzüne eşit dağılmış olduğu gerçeği, ateştopundaki maddenin aşırı düzenli bir şekilde dağılmış olduğu anlamına gelmektedir. Fakat tümüyle eşit bir şekilde dağılmış olamayacağını da biliyoruz. Sonuçta, yıldızlardan oluşan galaksiler, galaksi kümeleri ve aralarındaki büyük uzay boşluğuyla, bugünün evreni madde öbeklerinden oluşmaktadır. Dolayısıyla bir noktada, evrendeki madde, uzayda eşit bir şekilde dağılmaktan çıkarak kümelenmeye başlamıştır. Ve bu sürecin başlangıcı, kozmik ardalan ışımasında görülebilir olmalıdır.

Gerçekten de, 1992 yılında, Büyük Patlama'dan geriye kalan ışığın parlaklığındaki çok ufak farklar, NASA'nın COBE uydusu tarafından saptandı. Bu kozmik dalgalar (hatta araştırmaya katılan bilim adamlarından biri, bu dalgaları "Tanrı'nın yüzü"ne benzetecek kadar canlı bir hayal gücüne sahipti), Büyük Patlama'nın 450.000 yıl sonrasında, evrenin bazı kısımlarının diğer kısımlarına nazaran biraz daha yoğun olduğunu gösterdi. Ve fark edilen bu madde öbeklerinin, yani yapının tohumlarının, bugün evrende gördüğümüz galaksi kümelerini oluşturacak şekilde büyümüş olması gerektiği düşünüldü. Ancak burada bir sorun söz konusu.

Madde öbekleri, kütleçekimi nedeniyle daha büyük öbekler meydana getirecek şekilde büyür. Temel olarak, bir

kesim diğer bir kesme göre daha fazla maddeye sahipse, daha büyük olan kütleçekimiyle komşusu olan kesimden madde çalmaya devam eder. Bu bağlamda, tıpkı günümüz dünyasında zenginlerin zenginleştikçe fakirlerin daha da fakirleşmesi gibi, evrenin yoğun kesimleri daha da yoğunlaşmayı sürdürmüş ve en sonunda etrafımızdaki galaksileri oluşturmuşlardır. Ancak teorisyenlerin aklına takılan problem, kütleçekim kuvveti için 13,7 milyar yılın, COBE uydusu tarafından saptanan küçük madde öbeklerinden galaksilerin oluşmasına izin verecek kadar uzun bir süre olmamasıydı. Bunun tek yolu, evrende, yıldızlara bağlı görünebilir durumdaki maddeden çok daha fazla madde bulunması olasılığıydı.

Aslına bakılacak olursa, çok daha yakınımızda da kayıp maddeye dair güçlü göstergeler bulunuyor. Samanyolu gibi sarmal galaksiler yıldızlardan oluşan dev anaforlardır. Ancak yıldızların, galaksilerin merkezi etrafında aşırı hızlı bir şekilde döndüğü anlaşılmıştır. Bu yıldızların en sonunda yörüngelerinden fırlayarak galaksiler arası uzaya uçmaları gerekirdi, tıpkı aşırı hızlanan bir atlıkarıncadan fırlayıp düşmeniz gibi. Astronomların getirdiği olağandışı açıklama ise Samanyolu gibi galaksilerin yıldızlarda görünenden 10 kat daha fazla madde içerdiği oldu ve bu görünmez durumdaki maddeye "kara madde" dendi. Kimse kara maddenin ne olduğunu bilmiyor. Tek bildiğimiz, kara maddenin getirdiği ilave kütleçekiminin yıldızları yörüngelerinde tutarak galaksiler arası uzaya fırlamalarını engellediği.

Eğer evren, normal maddenin 10 katı kadar kara madde içeriyorsa, bu kara maddenin getireceği ilave kütleçekimi, 13,7 milyar yılda, COBE tarafından saptanan madde öbeklerinin günümüzün galaksilerine dönüşmesi için ye-

terlidir. Böylece Büyük Patlama fikri de korunmuş olur.[4] Bunun bedeli ise nereden geldiği hiç kimse tarafından bilinmeyen çok fazla kara maddenin resme eklenmiş olmasıdır. Hiç kimse tarafından bilinmeyen mi? Neredeyse, hiç kimse tarafından desek daha doğru olacak sanırım. *Çoğunlukla Zararsız* (*Mostly Harmless*) kitabında Douglas Adams'ın söylediklerine kulak verelim: "Uzun bir zaman boyunca, evrenin şu kayıp maddesinin nerede olabileceğine dair çok fazla spekülasyon ve tartışma çıktı. Galaksinin her noktasında, belli başlı tüm üniversitelerin bilim kürsüleri, uzaklardaki galaksilerin kalbini, ardından da tüm evrenin merkezini ve en uç noktalarını araştırmak için, sürekli olarak daha çok ve daha karmaşık teçhizatlar satın alıyordu. Fakat en sonunda sondaj tamamlandığında, kayıp maddenin, teçhizatların içinde geldiği paketleme malzemesinden başka bir şey olmadığı ortaya çıktı!"

Şişme (Enflasyon) Kuramı

Standart Büyük Patlama resminin, madde öbeklerinin galaksilere dönüşmesi için yeterli zamanı sağlayamadığı gerçeği, bu senaryoya yönelik tek problem değil. Daha ciddi bir sorun daha söz konusu. Bu sorun, ardalan ışımasının düzgünlüğüyle ilgili.

Isı, sıcak bir cisimden soğuk bir cisme geçerek cisimleri aynı sıcaklığa getirir. Örneğin elinizi sıcak su dolu bir şişenin üzerine koyacak olursanız, eliniz suyla aynı dereceye çıkana dek ısı şişeden size doğru akmaya devam edecektir. Kozmik ardalan ışıması temel olarak aynı sıcaklıktadır.

[4] Aslında normal maddeden 6 ile 7 kez arasında daha fazla kara madde olduğu düşünülüyor. Bunun nedeni yıldızların ancak normal maddenin yarısının kaynağı olmasıdır. Galaksiler arasındaki donuk gaz bulutları olabileceği düşünülen gerisi ise henüz tanımlanmamıştır.

Bunun anlamı, evren ilk zamanlarında boyut olarak genişlerken, bazı parçalar diğerlerine göre daha soğuk olsa da, her zaman daha sıcak olan parçalardaki ısının diğerlerine geçerek, ısı düzeyini eşitlemesi gerektiğidir.

Evrenin genişlemesini bir film gibi geriye saracak olursanız, ortaya bir sorun çıkıyor. Kozmik ardalan ışımasının maddeyle son kez bağlantıya geçtiği zamanda (Büyük Patlama'nın ardından 450.000 yıl sonra), bugün gökyüzünün zıt taraflarında olan evren parçaları, ısının birinden diğerine geçemeyeceği kadar birbirlerinden uzaktaydı. Isının iletilebileceği en yüksek hız ışık hızıydı ve evrenin var olduğu 450.000 yıllık süre bu iletim için yeterli değildi. Peki o zaman günümüzde kozmik ardalan ışıması her yerde nasıl aynı sıcaklıkta olabiliyor?

Fizikçiler bu soruya olağandışı bir cevap getirdi. Isı, evrende ileri-geri yol almış ve sıcaklığı her yerde eşitlemiş olabilirdi. Bunun tek şartı, evrenin, geriye doğru sardığımız filmimizin ortaya koyduğundan daha küçük olmasıydı. Uzay kesimleri birbirlerine sandığımızdan daha yakın olduğu takdirde, ısının, sıcak kesimlerden soğuk kesimlere geçerek sıcaklığı eşitlemesi için yeterli zamanı olabilirdi. Ancak evren ilk zamanlarında düşündüğümüzden daha küçükse, şu anki boyutlarına ulaşması için de gerçekten ciddi bir sıçrama yapmış olmalıydı.

Şişme kuramına göre, evren varoluşunun henüz ilk salisesinde "şişmiş" ve inanılmaz hızda bir genişleme sürecine girmiştir. Her ne kadar bu, fizikçiler için muğlaklığını koruyan bir mefhum olsa da, genişlemenin sürmesini sağladığını düşündüğümüz şey, boş uzaydaki vakumun kendine özgü tuhaf bir özelliğidir. Genişleme süreci inanılmaz bir hızla başlamış, ardından çok kısa bir süre içerisinde şiddetini kaybederek bugün gördüğümüz daha sakin genişleme sürecine girmiştir. Eğer normal Büyük Patlama ge-

nişlemesi bir dinamitin patlamasıysa, bu durumda şişme nükleer bir patlamaya eşdeğerdir. Şişme kuramının mimarı Alan Guth, "Standart Büyük Patlama teorisi, neyin patladığı, neden patladığı ya da patlama öncesinde ne olduğuna dair hiçbir şey söylememektedir," demiştir. Şişme kuramı en azından bu soruları işaret etmektedir.

Şişme kuramı ve kara maddenin eklenmesiyle, Büyük Patlama senaryosu kurtarılabilir. Aslına bakılacak olursa, bugünlerde astronomlar Büyük Patlama'dan konuştuklarında genellikle Büyük Patlama'yla birlikte şişme kuramı ve kara maddeyi de kastetmektedirler. Öte yandan ne şişme kuramı ne de kara madde, Büyük Patlama kadar iyi temellere sahip fikirler değildir. Yöneltilebilecek bütün kuşkuların ötesinde, evrenin sıcak, yoğun bir kütle olarak mevcudiyetine başladığını ve bu andan itibaren genişleyerek soğuduğunu biliyoruz. Şişmenin gerçekleşip gerçekleşmediği ise halen kesinlik kazanmamış durumda ve henüz hiç kimse kara maddenin ne olduğu tanımlayamadı.

Şişme kuramının artılarından biri, günümüz evrenindeki galaksiler gibi yapıların kökenlerine dair olası açıklamalar ortaya koymasıdır. Bu türden yapıların oluşması için, evrenin çok önceki safhalarında bir tür düzensizlik olması gerekiyor. Başlangıç anından gelen bu pürüzlülük hali, kuantum dalgalanması denilen olay yüzünden oluşmuş olabilir. Temel olarak, mikroskobik fiziğin kuralları, aşırı küçük uzay ve madde kesitlerinin, tencerede kaynayan su gibi yorulmaksızın kıpırdanmasına neden olur. Maddenin yoğunluğunda bu türden dalgalanmalar önemsiz boyuttadır, hatta günümüz atomlarından bile daha küçüktür. Bununla birlikte, şişme nedeniyle uzayın inanılmaz ölçüde genişlemesi, bu dalgalanmaları büyüterek fark edilebilir bir boyuta getirmiş olabilir. Yani bugünün evrenindeki en büyük yapılar olan galaksi kümeleri atomlardan daha küçük "tohumlar" tarafından tetiklenmiş olabilir!

Öte yandan şişme kuramı, evren hakkında, elimizdeki gerçeklerle uyumsuzluk yaratan bir başka şeyi de öngörmektedir. Şu anda, evren genişlemesini sürdürüyor. Ancak evrendeki tüm maddelerin kütleçekimi de bu genişlemeyi durdurmaya çalışıyor. Bu noktada iki temel olasılık söz konusu. İlk olasılık, evrenin, genişlemesini yavaşlatarak tersine döndürebilmeye yetecek kadar madde içeriyor olmasıdır. Böylelikle evren, Büyük Çöküş olarak adlandırılan ve evrenin doğduğu Büyük Patlama'nın aynadaki aksi olarak düşünülebilecek bir sürece girer. Diğer olasılık ise evrende genişlemeyi durduracak kadar maddenin bulunmaması durumunda, genişleme sürecinin sonsuza dek devam etmesidir. Şişme kuramı, evrenin bu iki olasılık arasında bıçak sırtında bir dengede durduğunu öngörür. Genişlemeye devam edecek, ancak aynı zamanda sürekli olarak yavaşlayacak ve en sonunda, sonsuz gelecek içinde tüm gücünü tüketecektir. Bunun olması için, evrenin kritik kütle olarak bilinen şeye sahip olması gerekmektedir. Sorun şu ki, evrendeki tüm maddeler hesaba katılsa bile (yani görünebilir durumda olan ve kara maddelerin tamamı), kritik kütlenin ancak üçte birine ulaşılabiliyor. Bu bağlamda şişme kuramı geleceği olmayan bir öneri gibi görünüyor. Aslında görünüyordu demek daha doğru. 1998 yılında yapılan çarpıcı bir keşfe dek.

Kara Enerji

İki ayrı ekip, uzak galaksilerdeki "süpernovaları" gözlemliyordu. Ekiplerden biri Amerikalı Saul Perlmutter, diğeri ise Avusturalyalı Nick Suntzeff ve Brian Schmidt yönetimindeydi. Süpernovalar, içinde bulundukları galaksiden bile daha parlak bir ışık yayarak patlayan yıldızlar olduğundan, çok uzak mesafelerden görülebilirler. İki ekibe ayrılmış ast-

ronomların gözlemlediği tür ise "Type Ia" süpernovaları olarak biliniyordu. Bu türden süpernovaların özelliği, patladıklarında hep aynı parlaklık düzeyine çıkıyor olmalarıdır. Bu yüzden, bir diğerine göre daha soluk olan bir süpernovanın daha uzakta olduğunu saptayabiliriz.

Oysa, astronomların gözlemlediği, daha uzakta olan süpernovaların (Dünyaya olan mesafeleri göz önüne alındığında) olması gerekenden daha soluk olduklarıydı. Bunu açıklamanın tek yolu, yıldızın patlamasından itibaren evrenin genişleme sürecinin hızlandığı ve böylelikle gözlemlenen süpernovanın daha uzakta kalarak beklenenden daha soluk göründüğü olabilirdi.

Bu gözlem bilim dünyasında şok etkisi yarattı. O güne dek, galaksileri etkileyen tek unsurun, ortak kütleçekimsel kuvvet olduğu düşünülüyordu. Bu da genişlemeyi yavaşlatan bir şeydi, hızlandıran değil.

Cisimleri ivmelendiren şey yalnızca uzayın kendisi olabilirdi. Sanılanın aksine, uzay boş olamazdı. Bu durumda uzay, henüz bilimin keşfedemediği, evren üzerinde bir tür kozmik geri tepme gücü uygulayan bir "kara enerji" içermeliydi. Bu kuvvet kütleçekimine karşılık gelerek galaksileri birbirinden uzaklaştırıyordu.

Fizikçiler, iş kara enerjinin ne olabileceğini anlamaya geldiğinde, ciddi bir kafa karışıklığı yaşamaktadır. Çıkarabildikleri en iyi teori olan kuantum mekaniği, boş uzayla bağıntılı bir enerji öngörmekteydi. Fakat bu enerji miktarı, Perlmutter'in gözlemlediğinden, 123 sıfırın takip ettiği 1 kadar daha büyüktü! Nobel ödülü adaylarından Steven Weinberg bu durumu, "bilim tarihindeki en büyük başarısızlık" olarak nitelendirmiştir.

Utanç verici bu duruma rağmen, kara enerjinin olumlu bir çıkarını bulunuyor. Şişme kuramının, evrenin kritik kütlede olmasını gerektirdiğini, ancak evrendeki tüm

maddelerin toplamının bu kritik kütlenin ancak üçte birini oluşturabildiğini anımsayın. Diğer taraftan Einstein'ın ortaya koyduğu gibi, tüm enerji türlerinin etkili bir kütlesi vardır. Ve kara enerji de buna dahildir. Aslında bu kütlenin, kritik kütlenin üçte ikisine tekabül etmesi mümkündür. Bu durumda, evren kritik kütleye tam olarak sahip demektir, tıpkı şişme kuramının öngördüğü gibi.

Hiç kimse kara enerjinin ne olduğunu bilmese de, olasılıklardan biri, Einstein tarafından öne sürülen boş uzayın geri tepme gücüdür. Bilim dünyasında her şey Einstein'la başlayıp Einstein'la bitiyormuş gibi görünüyor. Ve Einstein'ın en büyük hatasının, aslında en büyük başarısı olduğu anlaşılıyor.

Getirdiği bütün başarılı çıkarım ve açıklamalarına rağmen, Büyük Patlama'nın yalnızca, evrenin süper-yoğun ve süper-sıcak ilk halinden, galaksiler, yıldızlar ve gezegenlerin var olduğu şu anki haline nasıl geldiğinin bir açıklaması olduğunu belirtmekte fayda var. Her şeyin nasıl başladığı ise halen gizemini koruyor.

Tekillik ve Ötesi

Evrenin genişleme sürecini tersten düşünelim. Evren tek bir taneciğe doğru büzülürken, maddesel içeriği de sıkıştırılmış ve sıcak bir duruma geçer. Aslına bakılacak olursa, bu sürecin bir sınırı yok. Evren, genişlemesinin başladığı an olan doğum anında, sonsuz derecede yoğun ve sıcaktı. Fizikçiler herhangi bir değerin sonsuzluğa doğru fırladığı noktaya tekillik demektedir. Standart Büyük Patlama projeksiyonuna göre, evren bir tekillik içinde doğmuştur.

Einstein'ın kütleçekim teorisinin tekillik öngördüğü diğer yer, bir kara deliğin kalbidir. Bu durumda, düşünülemeyecek bir şekilde büzülen bir yıldızın maddesi, en sonunda sıfır hacme sıkışarak sonsuz yoğun ve sıcak bir ha-

le gelir. Zamanında dendiği gibi, "kara delikler, Tanrı'nın sıfıra bölme işlemini yaptığı yerdir."[5]

Tekillik anlamsızdır. Bu türden korkutucu kavramlar bir fizik teorisinde birdenbire belirdiğinde, bu durum genellikle bize teorinin (bu durumda, Einstein'ın kütleçekim teorisinin) hatalı olduğunu gösterir. Aslında bu, çok da şaşırtıcı sayılmamalı. Einstein'ın kütleçekim teorisini, artık dünya hakkında mantıklı hiçbir şey söyleyemeyeceği noktalara dek çekiştiriyoruz. Genel görelilik büyük şeylerin teorisidir. Öte yandan henüz ilk safhalarındayken evren bir atomdan daha küçüktü. Ve atom dünyasının teorisi de kuantum teorisidir, kütleçekimi değil.

20. yüzyıl fiziğinin çok önemli bu iki teorisi arasında çok fazla örtüşme yoktur. Öte taraftan söz konusu olan kara deliklerin kalbi ve evrenin doğumu olduğunda, çelişmeye başlarlar. Bir gün gerçekten evrenin nasıl oluştuğunu anlamak istiyorsak, Einstein'ın kütleçekim teorisinden çok daha iyi bir resme, kütleçekimine yönelik bir kuantum teorisine ihtiyacımız olacak.

Fakat bu tür bir teorinin oluşum süreci genel görelilik ve kuantum teorisi arasındaki temel bağdaşmazlık nedeniyle hiç de kolay olacakmış gibi görünmüyor. Genel görelilik, kendisinden önceki bütün fizik teorileri gibi, geleceği öngörmeye yönelik bir tariftir. Yani bir gezegen şimdi buradaysa, bir gün içinde şu rotayı izleyerek şuraya gidecektir. Tüm bu veriler yüzde 100 kesinlikle öngörülebilir. Ancak kuantum teorisi, kesinlikler üzerinden ilerleyen değil, olasılıkların öngörülmesine yönelik bir teoridir. Uzayda uçan bir atoma dair öngörebileceğimiz tek şey, olası son pozis-

---

[5] Aslına bakılacak olursa, bir kara delik ve Büyük Patlama'yla bağlantılı tekillikler arasında ince bir ayrım söz konusu. Kara deliklerde geçerli olan zamandaki tekillik, Büyük Patlama'daki ise uzaydaki tekilliktir.

yonu, olası rotasıdır. Dolayısıyla kuantum teorisi genel göreliliğin en temel taşlarını yerinden kaydırmaktadır.

Günümüzde fizikçiler birkaç farklı yoldan, kütleçekiminin kuantum teorisini oluşturmaya çalışıyor. Şüphesiz, bu farklı yollardan kamuoyu tarafından en çok tanınanı, maddenin temel yapı taşlarını tanecik gibi parçacıklar değil, bir "sicimin" ultra-küçük parçaları olarak yorumlayan süpersicim teorisidir. Sicim (süperyoğun kütle enerjisi) tıpkı bir keman yayı gibi titreşebilir ve her farklı titreşim "modu," elektron ya da foton gibi bir temel parçacıkla bağlantılıdır.

Süpersicim teorisyenlerini heyecanlandıran şey, sicim teorisinin otomatik olarak bir tür kütleçekimi içeriyor olması. Teorinin zorlu taraflarından biri ise sicimlerin 10 boyutlu bir uzayda titreşmesi. Bunun anlamı, fark edemeyeceğimiz kadar küçük altı uzay boyutunun daha var olması gerektiğidir. Sicim teorisinin bir diğer zorluğu da, çok karışık bir matematik içermesidir. Bu yüzden, şimdiye kadar kimse bu teoriyi kullanarak deneysel olarak sınanabilecek bir öngörüye ulaşmayı başaramadı.

Şu an için hiç kimse kütleçekimine yönelik bir kuantum teorisine ne denli yakın ya da uzak olduğumuzu çıkaramıyor. Ancak böyle bir teori olmaksızın, bizi evrenin doğumuna ulaştıracak son adımları atacağımızı umut bile edemeyiz. Bununla birlikte, bu süreçte olması gereken bazı şeyler açık bir şekilde ortadadır.

Evrenin genişleme sürecini bir kez daha tersine döndürelim.

Öncelikle, evren tüm yönlerde aynı oranda büzülecek. Bunun nedeni evrenin tüm yönlerde az çok aynı olması. Ancak "az çok aynı" demekle, "tam olarak aynı" demek elbette aynı şey değil. Bu yüzden bir yönde, diğer bir yöne nazaran daha çok galaksi olacak. Büzülmenin ilk safha-

larında bu dengesizliğin fark edilir düzeyde bir etkisi olmayacak. Ancak evren sıfır hacme doğru büzülürken, bu türden madde düzensizliklerinin çok daha ciddi etkileri ortaya çıkacak ve çöküşün son aşamaları korkunç ölçüde şiddetli ve kaotik olacak. Kütleçekimi (eğik uzay-zaman), içeri doğru düşen bir cisim tarafından tekilliğe hangi yönden yaklaşıldığına göre ciddi değişiklikler gösterecek.

Tekilliğe gerçekten yaklaşıldığında, uzay-zamanın eğikliği öylesine şiddetli ve kaotik bir düzeye çıkacak ki, uzay ve zaman paramparça olacak, sayısız zerreye ayrılacak. "Önce" ve "sonra" gibi kavramlar anlamını yitirecek. "Uzaklık" ve "yön" gibi kavramlar da. Buradan ilerisi ise yoğun bir sis perdesinin altında kalıyor. Sisin içinde kuantum kütleçekimin esrarengiz hükümdarlığı sürüyor ve henüz bizi oraya ulaştıracak bir rehberimiz yok.

Ancak bu sisin derinlerinde bir yerlerde, bilimin en can alıcı, en mühim sorularının cevapları yatıyor. Evren nereden geldi? Neden bundan 13,7 milyar yıl önce gerçekleşmiş bir patlamayla oluştu? Eğer bu sorunun bir anlamı varsa, peki daha öncesinde ne vardı?

Bir gün, çok küçük şeylere dair teorimiz ile büyük şeylere yönelik teorimizi birleştirmeyi başardığımızda bu soruların cevaplarını bulabileceğimizi umut ediyoruz. Bu gerçekleştiğinde asıl soruyla karşı karşıya kalacağız: Bir şey nasıl yoktan var olabilir? "Elinizde bir taş tutmanız yeterlidir," der Jostein Gaarder, *Sofi'nin Dünyası*'nda. "Portakal büyüklüğündeki bu taştan ibaret olsaydı bile evren yine aynı ölçüde anlaşılmaz, soracağımız soru da aynı ölçüde aşılamaz olurdu: Peki ama, bu taş nereden geldi?"

SÖZLÜK

ALFA BOZUNUMU: Kendisini daha hafif ve kararlı bir duruma geçirmek isteyen kararsız bir çekirdek tarafından, yüksek hızda bir alfa parçacığının tükürülmesi.

ALFA CENTAURI: Güneşe en yakın yıldız sistemi. Üç yıldızdan oluşan Alfa Centauri 4,3 ışık yılı uzaklıktadır.

ALFA PARÇACIĞI: Radyoaktif alfa bozunumu sonucunda kararsız bir çekirdekten yüksek hızda ayrılan, iki proton ve iki nötrondan –yani bir helyum çekirdeğinden– oluşan sıçrama parçacığı.

ATOM: Sıradan maddenin temel yapı taşı. Atomlar, elektronlar tarafından çevrelenmiş bir çekirdek içerir. Artı yüklü çekirdek, eksi yüklü elektronlarla tam bir denge içindedir. Atomlar milimetrenin 10 milyonda biri büyüklüğündedir.

ATOM ÇEKİRDEĞİ: Atomun merkezinde bulunan, proton ve nötronların oluşturduğu sıkı çekirdek (yalnızca hidrojen için tek bir proton söz konusudur). Çekirdek, atomun kütlesinin yüzde 99,9'undan daha fazlasını içerir.

ATOM ENERJİSİ: *Bkz.* Nükleer Enerji

ATOMALTI PARÇACIK: Elektron ve nötron gibi, atomdan daha küçük parçacıklar.

BELİRSİZLİK İLKESİ: *Bkz.* Heisenberg Belirsizlik İlkesi

BEYAZ CÜCE: Yakıtının tümüyle tükenmesi sonucunda, kendi kütleçekiminin etkisiyle dünyanın boyutlarına kadar inen yıldızlar. Bir beyaz cüceyi daha fazla büzülmekten koruyan şey, elektron bozunum basıncıdır. Beyaz cüceden alınmış küp şeker büyüklüğündeki bir parça, bir otomobil kadar ağır olabilir.

BİRLEŞME: Aşırı yüksek enerji düzeyinde, doğanın dört temel kuvvetinin birleşerek tek bir kuramsal yapı oluşturacağını belirten fikir.

BOSE-EINSTEIN YOĞUNLAŞMASI: Bir cisim içindeki tüm mikroskobik parçacıkların birdenbire aynı durumda toplanması. Bu parçacıkların bozon olması gerekir ve yoğunlaşma genellikle çok düşük sıcaklıklarda gerçekleşir. Örneğin -271 derecenin altına inildiği anda helyum atomlarının birdenbire aynı durumda toplanmasıyla, sıvı helyum bir süperakışkana dönüşür.

BOYLE KANUNU: Gazın hacminin, basıncıyla ters orantılı olduğunu ortaya koyan kanun. Bunun anlamı, basıncın ikiye katlanması durumunda hacmin yarıya ineceğidir.

BOYUT: Uzay-zamanda bağımsız yön. Etrafımızdaki tanıdık dünyanın üç uzay (doğu-batı, kuzey-güney, aşağı-yukarı) ve bir de zaman (geçmiş-gelecek) boyutu bulunur. Süpersicim teorisine göre ise evrende, yukarıda sayılanlara ilaveten altı tane daha uzay boyutu olması gerekir. Ancak çok küçük olduklarından ötürü, diğer boyutlardan kökten bir şekilde ayrılmaktadırlar.

BOZON: 0 birim, 1 birim, 2 birim gibi tamsayı spine sahip mikroskobik parçacık. Spinleri nedeniyle bu türden parçacıklar oldukça girişken bir yapıdadır ve toplu davranışları, lazerler, süperakışkanlar ve süperiletkenlerin oluşumuna imkân tanımaktadır.

BOZUNUM BASINCI: Küçük bir hacme sıkıştırılan elektronların uyguladığı basınç. Elektronların bu durumu kutu içine kapatılmış arılara benzetilebilir. Heisenberg belirsizlik ilkesinin bir sonucu olan bozunum basıncı, yeri çok iyi bilinen bir parçacığın hızına dair ciddi bir belirsizliğin oluşmasıyla bağlantılıdır. Elektronların bozunum basın-

cı beyaz cücelerin, nötronların bozunum basıncı ise nötron yıldızlarının kendi kütleçekimleriyle büzülmelerini engeller.

BROWN HAREKETİ: Küçük cisimler tarafından makineli tüfek bombardımanına tutulan büyük cisimlerin rastgele ve gergin hareketleri. Brown hareketi için sıklıkla kullanılan örneklerden biri, sürekli olarak su moleküllerinin saldırısına uğrayan polen taneciklerinin su içinde çizdiği zikzaklardır. Bitkibilimci Robert Brown tarafından 1827 yılında keşfedilen ve Einstein tarafından 1905 yılında açıklanan bu olay, atomların varlığına yönelik en güçlü kanıtlardan birisi olmuştur.

BÜYÜK ÇÖKÜŞ: Bunu yapmaya yetecek miktarda madde olduğu takdirde, evrenin genişlemesini yavaşlatarak, süreci tersine döndürebilecek bir kütleçekimine ulaşılması. Büyük Çöküş, evrenin doğumu sayılan Büyük Patlama'nın aynadaki aksi olarak düşünülebilir.

BÜYÜK PATLAMA: 13,7 milyar yıl önce, evrenin oluşumuna yol açtığı düşünülen devasa patlama. Aslında "patlama" kelimesi terime yanlış bir anlam kazandırmaktadır, çünkü Büyük Patlama her yerde aynı anda gerçekleşmiştir ve patlamayla birlikte oluşan evrenin püsküreceği, patlama öncesinde var olan bir boşluk da bulunmamaktadır. Uzay, zaman ve enerji; tümü de Büyük Patlamayla oluşmuştur.

BÜYÜK PATLAMA TEORİSİ: Evrenin 13,7 milyar yıl önce süper yoğun ve süper sıcak bir durumda başladığına ve o andan itibaren genişleyerek soğuduğuna yönelik kuram.

CCD (CHARGE-COUPLED DEVICE): Üzerine düşen ışığın neredeyse yüzde 100'ünü algılayabilen, süper hassas elektronik ışık dedektörü. Fotoğraf plakaları ışığın yalnızca yüzde 1'ini algılayabildiğinden, CCD teknolojisi kullanan bir teleskop, kendisinden 100 kat daha büyük, normal bir teleskop kadar ışık toplayabilir.

CHANDRASEKHAR SINIRI: Bir beyaz cüce için olası en büyük kütle. Chandrasekhar sınırı, bir yıldızın kimyasal bileşimine dayansa da, helyumdan oluşmuş bir beyaz cüce

için güneşten yüzde 44 daha fazla kütleye tekabül eder. Bu sınırdan daha büyük bir yıldızın elektron bozunum basıncı, yıldızı çökertmeye çalışan kütleçekimine daha fazla karşı koyamaz.

COMPTON SAÇILMASI: Yüksek enerjili ışığa maruz kaldıklarında elektronların geri tepmesi. Bu durumda kalan elektronlar, bilardo toplarının birbirleriyle çarpışarak dağıldığı gibi dağılmaktadır. Compton saçılması, ışığın küçük kurşunvari parçacıklardan, bir diğer ifadeyle fotonlardan oluştuğuna dair güçlü bir göstergedir.

COOPER ÇİFTİ: Zıt spinlere sahip iki elektronun, aşırı ölçüde düşük sıcaklıklarda bazı metaller içinde oluşturduğu çift. Tek elektronların aksine, Cooper çiftleri bozondur. Bu nedenle de, aynı durum içinde toplanarak, harekete geçmiş bir ordu misali, metalin içinde uygun adım bir tempo tutturabilirler. Bu şekilde oluşan bir süperiletken içindeki elektrik akımı sonsuza dek akabilir.

ÇEKİRDEK: *Bkz.* Atom Çekirdeği

ÇİFT YARIK DENEYİ: Bir perde üzerindeki birbirine çok yakın iki paralel yarığa mikroskobik parçacıkların ateşlendiği deney. Ateşlenen parçacıklar birbirleriyle girişimde bulunarak, ikinci bir perde üzerinde karakteristik bir girişim deseni oluşturur. Garip olansa, parçacıklar yarıklara teker teker ve uzun aralıklarla yollandığında (diğer bir ifadeyle, birbirleriyle girişimde bulunmalarının hiçbir olası yolu yokmuş gibi göründüğünde) bile ikinci perde üzerinde girişim deseninin oluşmasıdır. Deneyle elde edilen bu sonuç, Richard Feynman'a göre, kuantum teorisinin en temel gizemidir.

ÇOKLU DÜNYALAR: Kuantum teorisinin, yalnızca atomlar ve bileşenlerinin mikroskobik dünyasını değil, evrendeki her şeyi tanımladığına yönelik fikir. Kuantum teorisi bir atomun aynı anda iki yerde birden bulunmasına imkân tanıdığından dolayı, bir masa da aynı anda iki yerde birden olabilmelidir. Çoklu Dünyalar fikrine göre, masayı gözlemleyen kişinin zihni ikiye bölünmektedir. Zihinlerden biri masayı bir yerde, diğeri ise bir başka yerde algılar.

Bölünen bu iki zihin, ayrı gerçeklikler ya da evrenlerde var olmaktadır.

ÇOKLU EVREN: Evrenimizin, var olan muazzam sayıdaki birbirinden ayrı evrenlerden yalnızca biri olduğu kavramsal yapı. Bu evrenlerden çoğu ölüdür ve ilgi çekici bir tarafları yoktur. Yalnızca çok dar bir altkümeyi oluşturanları, yıldızlara, gezegenlere ve genel anlamıyla yaşama imkân tanımaktadır.

DALGA FONKSİYONU: Atom gibi bir kuantum objesi hakkında bilinebilecek her şeyi içeren matematiksel bir eleman. Dalga fonksiyonunun zaman ve uzayla birlikte değişimini tanımlayan denklem Schrödinger denklemidir.

DALGA UZUNLUĞU: Bir salınım döngüsü boyunca dalganın katettiği mesafe.

DALGA-PARÇACIK İKİLİĞİ: Bir atomaltı parçacığın hem yeri belli olan bir parçacık hem de uzayda yayılan bir dalga *gibi davranabilmesi*.

DOLANIKLIK: İki ya da daha çok mikroskobik parçacığın birbirine dolanması. Dolanıklık durumunda, parçacıklar tekilliklerini yitirirerek, birçok açıdan tek bir mevcudiyetmiş gibi davranırlar.

EGZOTİK MADDE: İtici kütleçekimine sahip kuramsal madde.

ELEKTRİK AKIMI: Bir iletken içinden akan yüklü parçacıkların (genellikle elektronların) oluşturduğu akım.

ELEKTRİK ALANI: Elektrik yüklerini çevreleyen kuvvet alanı.

ELEKTRİK YÜKÜ: Mikroskobik parçacıkların bir özelliği. Artı ya da eksi olabilir. Örneğin elektronlar eksi yüklüyken, protonlar artı yüklüdür. Aynı elektrik yüküne sahip parçacıklar birbirlerini iterken, zıt yüklere sahip olanlar birbirlerini çeker.

ELEKTROMANYETİK DALGA: Belirli aralıklarla sönümlenen/büyüyen bir manyetik alanla birlikte, belirli aralıklarla büyüyen/sönümlenen bir elektrik alanından oluşan dalga. Elektromanyetik dalga titreşen bir elektrik yükü tarafından üretilir ve uzayda ışık hızında hareket eder.

ELEKTROMANYETİK KUVVET: Doğadaki dört temel kuvvetten biri. Vücutlarımızı ve ayaklarımızın altındaki zemini oluşturan atomlar da dahil olmak üzere, tüm sıradan maddenin bir arada durmasını sağlayan, elektromanyetik kuvvettir.

ELEKTRON: Genellikle bir atom çekirdeğinin çevresinde bulunan, eksi yüklü atomaltı parçacık. Şu ana dek bilindiği kadarıyla, elektron daha küçük parçalara bölünemeyecek temel bir parçacıktır.

ELEMENT: Kimyasal yollarla daha fazla indirgenemeyen madde. Bir elementin tüm atomları, çekirdeklerinde aynı sayıda proton içerir. Örneğin tüm hidrojen atomlarının tek bir protonu, klor atomlarının ise 17 protonu bulunur.

ENERJİ: Tanımlanması neredeyse imkânsız bir nicelik. Yaratılamayan ya da yok edilemeyen enerji ancak bir biçimden diğerine dönüştürülebilir. Aşina olduğumuz enerji türleri arasında ısı, hareket, elektrik ve ses enerjilerini sayabiliriz.

ENERJİNİN KORUNUMU: Enerjinin ne yaratılabileceği ne de yok edilebileceğini, ancak bir biçimden diğerine dönüştürülmesinin mümkün olduğunu belirten fizik kanunu.

EVRE UYUMSUZLUĞU İLKESİ: Kütleçekimi ve ivmenin ayırt edilemezliği.

EVRE UYUMSUZLUĞU: Cisimlerin kuantum doğasını ortadan kaldıran mekanizma. Evre uyumsuzluğu sayesinde, bir cisim aynı anda birçok yerde bulunmak yerine, tek bir yerde sabitlenmiş gibi görünür. Dış dünyayla etkileşim, evre uyumsuzluğunun oluşması için yeterlidir. Evre uyumsuzluğunu devreye sokarak kuantum davranışlarının ortadan kalkmasını sağlayacak bilgi alma girişimi, tek bir ışık fotonu ya da cisimden seken bir hava molekülü üzerinden olabilir. Örneğin masalar gibi büyük cisimler sürekli olarak foton ve hava moleküllerinin saldırısına uğradığından ve çevrelerini sarmış olan unsurlardan uzun süre yalıtılmış bir şekilde kalamadıklarından ötürü, fantastik ölçüde kısa bir süre içerisinde (en azından

bizim fark edemeyeceğimiz kadar kısa bir sürede) aynı anda birçok yerde bulunabilme yetilerini kaybederler.

EŞZAMANLILIK: Bir kişi için aynı zamanda gerçekleşmiş gibi görünen olayların, evrendeki herkes için aynı anda gerçekleşmiş gibi görünmesi gerektiği yönündeki fikir. Özel görelilik bu fikrin hatalı olduğunu ortaya çıkarmıştır.

EVREN: Var olan her şey. Evren, bir zamanlar güneş sistemi yerine kullanılan esnek bir tabirdir. Zaman içinde terim, Samanyolu için de kullanılmıştır. Günümüzde ise sayıları 100 milyarı bulan galaksilerin oluşturduğu uzayın tamamı için kullanılmaktadır.

EVRENBİLİM (KOZMOLOJİ): Evrenin kökeni, evrimi ve kaderi üzerine yoğunlaşan nihai bilim dalı.

EVRENİN GENİŞLEMESİ: Büyük Patlama sonrasında galaksilerin birbirlerinden uzaklaşma süreci.

EYLEMSİZLİK: Kütle sahibi bir cismin, bir kez harekete geçtikten sonra, eğik olmayan bir uzayda düz bir çizgi, eğik bir uzayda ise bir jeodezik boyunca ve sabit hızla hareketini sürdürmeye yönelik eğilimi. Kimse eylemsizliğin kökenine dair bilgi sahibi değildir.

EYLEMSİZLİK KUVVETİ: Eylemsizlik dışında bir kaynağı olmayan hareketleri açıklamak için icat ettiğimiz kuvvet türü. Eylemsizlik kuvvetine verilebilecek iyi örneklerden birisi, merkezkaç kuvvetidir. Aslına bakılacak olursa, sert bir virajı dönmekte olan aracın içinde savrulmamıza neden olan herhangi bir kuvvet yoktur. Olan şey, eylemsizliğimiz nedeniyle düz bir çizgi üzerinde hareketimizi sürdürmeye devam etmemizdir.

FERMİYON: 1/2 birim, 3/2 birim, 5/2 birim gibi yarı-tamsayı spine sahip mikroskobik parçacık. Spinleri nedeniyle bu türden parçacıklar birbirlerinden kaçar. Fermiyonların bu antisosyal tavrı, atomların varlık nedeni olmanın yanında, ayaklarımızın altındaki zeminin de katı olmasını sağlamaktadır.

FİZİK KANUNLARI: Evrenin davranışlarını düzenleyen temel kanunlar.

FOTOELEKTRİK ETKİ: Fotonların metale hücum ederek elektronları metal yüzeyinden atması.

FOTON: Işık parçacığı.

FOTOSEL: Fotoelektrik etkiden faydalanan pratik bir cihaz. Bir cismin, metal üzerine düşen ışığı keserek elektrik akımını da kesmesinden dolayı, fotosel, elektronik cihazlarda kumanda maksadıyla kullanılır. En gündelik örneklerinden biri otomatik kapılardır.

FÜZYON: *Bkz.* Nükleer Füzyon

GALAKSİ: Evrenin temel yapı taşlarından birisi olan galaksiler, büyük yıldız adalarıdır. Sarmal bir yapıda olan kendi galaksimiz Samanyolu 200 milyar yıldız içermektedir.

GAZ: Uzayda bir arı kümesi gibi uçuşan atom topluluğu.

GENEL GÖRELİLİK TEORİSİ: Einstein'ın, kütleçekiminin aslında uzay-zamanın eğikliğinden başka bir şey olmadığını ortaya koyan teorisi. Teori, Newton'un yerçekimi teorisinde bulunmayan fikirler içermektedir. Bunlardan biri, hiçbir şeyin, kütleçekiminin bile ışıktan daha hızlı yol alamayacağıdır. Diğer bir fikir de, tüm enerji biçimlerinin kütlesinin olduğu ve dolayısıyla da kütleçekim kaynağı olduklarıdır. Diğer çıkarımlarının yanında genel görelilik teorisi, kara delikleri, genişleyen evren fikrini ve kütleçekiminin ışığın rotasını eğebileceğini öngörmüştür.

GENİŞLEYEN EVREN: Büyük Patlama sonrasında galaksilerin birbirlerinden uzaklaşması.

GİRİŞİM: İki dalganın üst üste binmesi. Dalga tepelerinin çakıştığı noktalarda birbirlerini kuvvetlendirir, birinin dalga tepesi diğerinin dalga çukuruna rastladığında ise birbirlerini sönümlendirirler.

GİRİŞİM DESENİ: İki ayrı kaynaktan gelen ışıkla aydınlanan bir perde üzerinde beliren aydınlık ve karanlık şeritlerin oluşturduğu desen. Girişim deseni, iki yarıktan çıkan ışığın dalga tepeleri birbirine ayak uydurduğunda ışığın parlaklığının artması, uyduramadıklarında ise sönümlenmesiyle oluşur.

GÖRELİLİK İLKESİ: Birbirlerine göre sabit hızda hareket eden gözlemciler için tüm fizik kurallarının aynı olması.

GÖZLEMLENEBİLİR EVREN: Evrenin ufkuna dek görebildiğimiz her şey.

GÜNEŞ SİSTEMİ: Güneş ve yörüngesindeki gezegenlerin, uyduların, kuyrukluyıldızların ve muhtelif küçük parçaların oluşturduğu sistem.

HEISENBERG BELİRSİZLİK İLKESİ: Bir parçacığın yeri ve hızı gibi belli nicelik çiftlerinin aynı anda tam bir kesinlikte bilinemeyeceğini ortaya koyan kuantum teorisi ilkesi. Pratikte bunun anlamı, bir parçacığın hızı kesin olarak bilindiği takdirde, parçacığın yerine yönelik bir fikrimizin olamayacağıdır. Tersi şekilde, parçacığın yeri kesin bir şekilde biliniyorsa, bu defa da hızı belirsizleşecektir. Bilebileceklerimiz üzerine bir sınır getiren Heisenberg belirsizlik ilkesi, doğanın belirsizliğini ortaya koymaktadır. Çok yakından bakmaya kalkıştığımız anda her şey netliğini yitirir ve aşırı şekilde büyütülmüş bir gazete resmi gibi bulanıklık kazanır.

HELYUM: Doğadaki en hafif ikinci ve dünyadan önce güneşte keşfedilen tek element. Tüm atomların yüzde 10'unu oluşturan helyum, hidrojenden sonra evrende en çok bulunan ikinci elementtir.

HİDROJEN: Doğadaki en hafif element. Bir hidrojen atomu, tek bir proton ve elektrondan oluşmaktadır. Evrendeki tüm atomların neredeyse yüzde 90'ı hidrojen atomudur.

HİDROJEN YANMASI: Hidrojenin füzyon yoluyla helyuma dönüşmesi sürecinde yüksek miktarlarda nükleer enerjinin ortaya çıkması. Hidrojen yanması, güneş ve yıldızların büyük çoğunluğunun güç kaynağıdır.

HİDROSTATİK DENGE: Yıldızı çökertmeye çalışan kütleçekim kuvvetinin, yıldızın içinde meydana gelen nükleer tepkimelerin dışa doğru uyguladığı kuvvetle dengelenmesi.

IŞIĞIN EĞRİLMESİ: *Bkz.* Kütleçekimsel Işık Eğrilmesi

IŞIK HIZI: Saniyede 300.000 kilometre olan kozmik hız sınırı.

IŞIK HIZININ DEĞİŞMEZLİĞİ: Evrende, boş uzay içinde ışık hızının, ışığın kaynağının ya da gözlemcinin hızından bağımsız olarak, her zaman sabit olması. Bu ilke, Einstein'ın özel görelilik teorisinin iki dayanak noktasından biridir (diğeri ise görelilik ilkesidir).

IŞIK YILI: Evrende mesafeleri tanımlamada kullanılan birim. Işığın vakum içinde bir yılda katettiği mesafe olan ışık yılı, 9,46 trilyon kilometredir.

IŞINIM GÜCÜ: Her bir saniye içinde yıldız gibi bir cisim tarafından yayımlanan toplam ışık miktarı.

IŞINLANMA (TELEPORTASYON): Mikroskobik bir parçacığın durumunu tam olarak saptamak için, Heisenberg belirsizlik ilkesinin müsaade ettiği sınırın ihlal edilmesini gerektirecek şekilde, dolanıklıktan yararlanılması. Bu durum, parçacığı yeniden oluşturmak için gerekli olan bilginin uzak bir noktaya gönderilmesine imkân tanımaktadır.

İKİZ PARADOKSU: İkizlerden biri ışık hızına yakın bir hızda seyrederken (diyelim ki Alfa Centauri'ye giderken), evde kalan ikiziyle arasında oluşacak yaş farkını ortaya koyan paradoks. Özel göreliliğe göre, uzayda ışık hızına yakın yol almakta olan ikizin yaşlanma süreci yavaşlar. Diğer bir bakış açısına göre ise uzayda yol alan ikizden ışık hızına yakın bir hızda uzaklaşmakta olan dünyanın kendisidir ve bu nedenle de evde kalan ikizin yaşlanma süreci yavaşlar. Paradoks, bu iki önermenin eşdeğer olmadığının anlaşılmasıyla çözülmüştür. Uzayda yol alan ikizin Alfa Centauri'den dönüşte yavaşlayıp, ters yönde hızlanması gerekmektedir ve ivmelenmeler özel göreliliği değil, genel göreliliği gerektirir.

İLETKEN: Elektrik ileten madde.

İNSANCI İLKE: Evrenin bu şekilde olmasının sebebi, eğer öyle olmasaydı, bunu fark edecek olan bizlerin var olamayacağıdır. Başka bir deyişle, var olduğumuz gerçeği önemli bilimsel bir gözlemdir.

İYON: Yörüngesindeki elektronlardan birini veya daha fazlasını yitirdiğinden dolayı net artı elektrik yüküne sahip bir atom ya da molekül.

İZOTOP: Atom numarası aynı, kütle numarası farklı olan atomlar. İzotoplar farklı kütleleri sayesinde ayırt edilebilir. Örneğin klor, kütleleri 35 ve 37 olan iki kararlı izotop halinde

gelir. Kütle farkının nedeni, çekirdeklerindeki nötron sayısıdır. Klor-35 çekirdeğinde 18 nötron içerirken, bu rakam klor-37 için 20'dir. Her ikisi de aynı miktarda protona (17) sahiptir ve elementin kimliğini belirleyen de budur.

JEODEZİK: Bükülmüş ya da eğik uzayda, iki nokta arasındaki en kısa mesafe.

JOULE: Bilimde kullanılan standart enerji birimi. Havada uçmakta olan bir kriket topunun hareket enerjisi 10 Joule, bir dilim ekmeğin sağladığı kimyasal enerji 100.000 Joule ve bir yıldırımın taşıdığı elektrik enerjisi 10 milyar Joule düzeyindedir.

KAPALI ZAMANSI EĞRİLER: Aşırı ölçüde eğrilmiş uzay-zaman alanları. Kapalı zamansı eğrilerde, bir koşu pistinde yolun kendi üzerine katlanması gibi, zaman kendi üzerine katlanır. Kapalı zamansı eğri, günlük dilde konuşacak olursak, bir zaman makinesidir ve günümüz fizik kurallarına göre olasılık dahilindedir.

KARA CİSİM: Üzerine düşen tüm ısıyı soğuran cisim. Kara cismin üzerine düşen ısı cismin atomları arasında, dışarı verdiği enerji cismin hangi maddeden yapıldığına bağlı olmayan, sadece sıcaklığa göre değişen karakteristik bir yapıda olacak şekilde paylaşılır. Yıldızların neredeyse birer kara cisim oldukları söylenebilir.

KARA DELİK: Kütleli bir cismin kütleçekimi, cismin bir taneciğe dönüşene dek büzülmesini sağladığında, geriye kalan aşırı derecede eğrilmiş uzay-zaman. Işık da dahil hiçbir şey kara delikten kurtulamaz. Zaten ışık yaymıyor oluşları nedeniyle kara delik olarak adlandırılmaktadır. Evrende en azından iki tür kara delik olduğu görülüyor: aşırı kütleli yıldızlar, kendilerini içe doğru çökertmeye çalışan kütleçekimini dengeleyecek ısıyı daha fazla üretemediğinde oluşan yıldız boyutlarındaki kara delikler ve süper kütleli kara delikler. Birçok galaksinin kalbinde bir süperkütleli kara delik bulunduğu anlaşılmıştır. Bu kara deliklerin boyutları, güneşin kütlesinin milyonlarca katı büyüklükten, büyük kuasarlarda milyarlarca katına dek uzanmaktadır.

KARA ENERJİ: İtici kütleçekimine sahip gizemli "madde." 1998 yılında kazayla keşfedilen kara enerji, görünmez durumdadır ve tüm uzayı doldurur. Kara enerji, galaksileri birbirlerinden uzaklaştırmakta ve evrenin genişlemesini hızlandırmaktadır. Ancak henüz kimsenin kara enerji üzerine çok fazla bilgisi bulunmuyor.

KARA MADDE: Evrende bulunan, dışarı ışık vermeyen madde. Astronomların kara maddenin varlığını kabul etmelerinin nedeni, görünmeyen şeylerin kütleçekiminin, görünebilir durumdaki yıldız ve galaksilerin uzaydaki rotalarını eğiyor olmasıdır. Evrende, ışık yayan normal maddelerin 6-7 katı kadar kara madde bulunuyor. Kara maddenin ne olduğu ise astronominin en önde gelen sorularından birisi.

KARŞI-MADDE: Karşı-parçacıkların oluşturduğu madde. Karşı-proton, karşı-nötron ve pozitronlar, karşı-atomları oluşturmak için bir araya gelebilir. Dahası, prensipte, karşı-yıldız, karşı-gezegen ya da karşı-yaşamın olasılık dışı olmasına yol açan bir kaide de yoktur. Günümüz biliminin en büyük gizemlerinden biri, fizik kuralları neredeyse yüzde 50/50'lik bir madde/antimadde oranını öngörürken, neden yalnızca maddeden oluşmuş bir evrende yaşıyormuşuz gibi göründüğüdür.

KARŞI-PARÇACIK: Her atomaltı parçacığın, zıt özelliklere sahip (mesela zıt elektrik yükü) bir karşı-parçacığı bulunmaktadır. Örneğin eksi yüklü elektron, artı yüklü bir karşı-parçacıkla, yani pozitronla eşleşmektedir. Bir parçacık ve karşı-parçacığı karşılaştığında, gama ışınları olarak da bilinen yüksek enerjili bir ışık çakmasıyla, kendilerini yok ederler.

KIZILÖTESİ: Sıcak cisimler tarafından yayılan bir tür görünmez ışık.

KİMYASAL BAĞ: Molekülleri oluşturmak için atomların birbirlerine bağlanması.

KLASİK FİZİK: Kuantumdışı fizik. Daha net olmak gerekirse, enerjinin kesikli paketler (ya da kuantalar) halinde gel-

diğinin Alman fizikçi Max Planck tarafından öne sürüldüğü 1900 yılından önceki fizik. Bu fikrin, daha önceki tüm fizikle uyumsuz olduğunu ilk fark eden kişi Einstein olmuştur.

KOPERNİK İLKESİ: Ne uzay ne de zamanda, evrendeki konumumuzun hiçbir özelliğinin olmadığını ortaya koyan fikir. Bu ilke Kopernik'in, dünyanın güneş sisteminin merkezinde özel bir konumda bulunmadığına, yalnızca güneşin etrafında dönmekte olan gezegenlerden biri olduğuna yönelik keşfinin genelleştirilmiş bir halidir.

KORUNUM YASASI: Bir niceliğin asla değişmeyeceğini ortaya koyan fizik kanunu. Örneğin enerjinin korunumu, enerjinin ne yaratılabileceği ne de yok edilebileceğini, ancak bir biçimden diğerine dönüştürülmesinin mümkün olduğunu belirtmektedir. Örneğin petrolün kimyasal enerjisi bir otomobilde hareket enerjisine dönüştürülür.

KOZMİK ARDALAN IŞIMASI: Büyük Patlama'nın oluşturduğu ateştopundan geriye kalan ısı ve ışık. Ardalan ışıması inanılmaz bir şekilde patlamanın üzerinden 13,7 milyar yıl geçmiş olmasına rağmen, -270 derecelik soğuk bir ışıma olarak halen tüm uzaya yayılmış durumdadır.

KOZMİK IŞINLAR: Uzaydan gelen yüksek hızda atom çekirdekleri (genellikle de protonlar). Düşük enerjili olanlar güneşten, yüksek enerjili olanlar ise muhtemelen süpernovalardan gelmektedir. Dünyada bugüne dek üretebildiklerimizden milyonlarca kat daha yüksek bir enerjiye sahip ultra-yüksek enerjili kozmik ışınların kökeni, astronominin halen çözülememiş en büyük gizemlerinden birisidir.

KOZMOS: Evren için kullanılan bir diğer sözcük.

KRONOLOJİK TUTARLILIK TEORİSİ: Zamanda yolculuğun imkânsız olduğunu ortaya koyan sınırlayıcı teori. Şu ana dek hiç kimse bu teoriyi kanıtlayamamış olsa da (aslında fizik kuralları zamanda yolculuğu olasılık dahilinde göstermektedir), Stephen Hawking gibi fizikçiler, henüz keşfedilmemiş bazı doğa kanunlarının zaman makinelerini imkânsız kıldığına inanmaktadır.

KUANTUM: Bir şeyin bölünebileceği en ufak parça. Örneğin fotonlar, elektromanyetik alanın kuantumlarıdır.

KUANTUM AYIRT EDİLEMEZLİĞİ: İki kuantum olayının birbirinden ayırt edilemez oluşu. Bu olayların ayırt edilememe nedeni, özdeş parçacıklar içermeleri ya da yalnızca gözlemlenememeleri olabilir. Ancak burada önemli nokta, ayırt edilemez olaylarla bağlantılı olasılık dalgalarının girişimde bulunabilmesidir. Birçok kuantum fenomeninin altında yatan neden budur.

KUANTUM BİLGİSAYARI: Atomlar gibi kuantum sistemlerinin aynı anda birçok farklı yerde ya da durumda bulunabilme özelliğini, aynı anda birçok işlem gerçekleştirebilmek için kullanan makineler. Şu anda inşa edilebilen taslak halindeki ilk kuantum bilgisayarları ancak birkaç kubit üzerinden işlem yapabiliyor olsa da, prensipte bu makinelerin günümüzün geleneksel bilgisayarlarını performans açısından silip süpüreceği anlaşılmıştır.

KUANTUM ELEKTRODİNAMİĞİ: Işığın maddeyle nasıl etkileşime girdiğine yönelik teori. Teori, ayaklarımızın altındaki zeminin neden katı olduğundan lazerlerin nasıl çalıştığına, metabolizmanın kimyasından bilgisayarların işleyişine kadar, gündelik dünya hakkında hemen her şeyi açıklamaktadır.

KUANTUM OLASILIĞI: Mikroskobik bir olayın gerçekleşme şansı ya da olasılığı. Her ne kadar doğa, olaylar hakkında kesin bilgiye sahip olmamızı engellese de, olasılıkları kesin olarak tayin edebiliriz.

KUANTUM ÖNGÖRÜLEMEZLİĞİ: Mikroskobik parçacıkların öngörülemezliği. Bu parçacıkların davranışları prensipte bile öngörülemez. Bu durum yazı-tura atmanın pratikteki öngörülemezliğine benzememektedir. Prensipte, madeni paranın şekli, paraya uygulanan kuvvet ve hava akımı gibi verilerin tamamını bilirsek, paranın yazı mı tura mı geleceğini tam bir kesinlikle öngörebiliriz.

KUANTUM SAYISI: Spin ya da bir elektronun orbital enerjisi gibi kuantumlar halinde gelen mikroskobik bir özelliği belirten sayı.

KUANTUM SÜPERPOZİSYONU: Atom gibi bir kuantum cisminin aynı anda birden çok durumda olabilmesi. Örneğin bir atom aynı anda birçok yerde bulunabilir. Tüm tuhaf kuantum olaylarının nedeni, süperpozisyon içindeki ayrı durumların birbirleriyle etkileşime girmesi ya da girişimde bulunmasıdır. Evre uyumsuzluğu bu etkileşimi bozarak kuantum davranışını ortadan kaldırır.

KUANTUM TEORİSİ: Çevrelerinden yalıtılmış durumda olan cisimlerin teorisi. Büyük cisimleri çevrelerinden yalıtmak çok kolay olmadığından ötürü, teori esas olarak atomlar ve bileşenlerinin mikroskobik dünyasında geçerlidir.

KUANTUM TÜNELLEMESİ: Mikroskobik parçacıkların kaçılması imkânsız görünen hücrelerinden mucize kabilinden kaçma becerisi. Örneğin bir alfa parçacığı, çekirdekte kendisini çevrelemiş olan engeli tünelleme yoluyla aşabilmektedir. Tünelleme, mikroskobik parçacıkların dalgasal karakterinin sonucudur.

KUANTUM VAKUMU: Boş uzayın kuantum resmi. Bu resme göre, uzay boş değil, ultra-kısa yaşam sürelerine sahip mikroskobik parçacıkların kaynaştığı bir ortamdır. Heisenberg belirsizlik ilkesinin izin verdiği şekilde, bu parçacıklar göz açıp kapayıncaya kadar oluşup yok olurlar.

KUASAR: Enerjisinin çoğunu, merkezlerindeki dev kara deliklerin çekim gücüne kapılan büyük miktarlarda maddenin milyonlarca dereceye kadar ısınıp şiddetli ışınım yaymasıyla elde eden galaksiler. Evrendeki en güçlü cisimler olan kuasarlar, güneş sisteminden daha küçük bir hacimde, 100 normal galaksinin üretebileceği düzeyde ışık üretebilirler.

KUBİT: Kuantum biti. Normal bir bit yalnızca "0" ya da "1"i temsil ederken, kubit iki durumun süperpozisyonu olarak var olabildiği için, aynı anda hem "0"ı hem de "1"i temsil edebilir. Kubit zincirleri aynı anda birçok sayıyı temsil edebildiğinden dolayı, eşzamanlı olarak çok sayıda işlem yapabilmek için kullanılabilirler.

KUYRUKLUYILDIZ: Bir yıldızın yörüngesindeki, yalnızca birkaç kilometre genişliğinde çok soğuk cisim. Kuyrukluyıldızların çoğunluğu, en dıştaki gezegenlerin çok daha ötesindeki Oort Bulutu olarak bilinen dev bir bulutun içinde, güneşin etrafında dönmektedir. Göktaşları gibi kuyrukluyıldızlar da, gezegenlerin oluşumu sonrasında inşaattan geriye kalan döküntüler olarak düşünülebilir.

KÜTLE: Bir cismin içindeki madde miktarı. Kütle, enerjinin en yoğun halidir. Tek bir gramı, 100.000 ton dinamitle aynı ölçüde enerji içerir.

KÜTLEÇEKİM KUVVETİ: Doğadaki dört temel kuvvetten en zayıf olanı. İlk kez Newton tarafından kuramsallaştırılan kütleçekimi, daha kesin bir şekilde Einstein'ın kütleçekim teorisi olan genel görelilik teorisiyle tanımlanmıştır. Ancak genel görelilik de, bir kara deliğin kalbindeki ve evrenin doğumundaki tekillik konularında yetersiz kaldığından, fizikçiler kütleçekiminin daha iyi bir tanımına yönelik arayışlarını sürdürmektedir. Kuantum kütleçekimi olarak adlandırılan teorinin, kütleçekimini graviton denilen parçacıkların değişimi üzerinden açıklaması düşünülmektedir.

KÜTLEÇEKİMSEL DALGA: Uzay-zamanda yayılan bir dalga. Kütleçekimsel dalgalar, kara deliklerin birleşmesi gibi şiddetli kütle hareketleri tarafından üretilir. Ancak bu dalgalar zayıflıklarından ötürü henüz doğrudan tespit edilememişlerdir.

KÜTLEÇEKİMSEL IŞIK EĞRİLMESİ: Kütleli bir cismin yakınlarından geçen ışığın rotasının eğrilmesi ya da sapması. Kütleli bir cismin etrafındaki uzay bir vadi gibi çökmüş olduğundan, ışığın eğri bir rota izlemekten başka yolu yoktur.

KÜTLEÇEKİMSEL KIRMIZIYA KAYMA: Işığın, kütleli bir gökcismi etrafında oluşan uzay-zaman çöküntüsünü tırmanırken enerji kaybetmesi. Işığın "rengi" enerjisiyle ilişkili olduğundan ve kırınızı ışık maviye nazaran daha düşük bir enerji düzeyini gösterdiğinden, astronomlar bu durumda ışığın tayfın kırınızı ucuna kaydığını söyler.

LAMBDA NOKTASI: Sıvı helyumun süperakışkana dönüşmeye başladığı sıcaklık.

LAZER: Fotonların girişken doğalarının açığa çıktığı ışık kaynağı. Bir maddenin içinden ne kadar çok foton geçerse, diğer fotonların aynı özelliklerle yayımlanma olasılığı da aynı ölçüde artar. Sonuç, uygun adım yol alan bir foton ordusudur.

LORENTZ BÜZÜLMESİ: Gözlemciye göre hareket halinde olan bir cismin büzülmesi. Gözlemci, cismin hareket halinde olduğu yönde büzüldüğünü görür. Bu etki, yalnızca ışık hızına yakın seyreden cisimlerde fark edilebilir durumdadır.

MANYETİK ALAN: Mıknatısı çevreleyen kuvvet alanı.

MAXWELL ELEKTROMANYETİZMA DENKLEMLERİ: 1868 yılında James Clerk Maxwell tarafından bulunan, tüm elektrik ve manyetik olayları düzenli bir şekilde özetleyen denklemler. Maxwell denklemleri, ışığın elektromanyetik bir dalga olduğunu ortaya çıkarmıştır.

MERKÜR'ÜN GÜNBERİSİNİN SAPMASI: Güneşe en yakın gezegen olan Merkür'ün yörüngesinin düz eliptik bir çizgi değil, hafifçe bir rozet şekli izlemesi. Merkür'ün günberisi (yörüngesinin güneşe en yakın olduğu nokta), güneşin etrafında yavaşça dönerek bir rozet şekli çizer. Bu durumun açıklaması, güneşten uzaklaşıldıkça, güneşin kütleçekiminin, Newton'un kütleçekim kanununun öngördüğünden daha yavaş bir şekilde zayıflamasıdır. Einstein'ın kütleçekim teorisine göre, güneşin kütleçekimin daha yavaş bir şekilde zayıflamasının nedeni, kütleçekiminin kendisinin de bir kütleçekim kaynağı olmasıdır.

MOLEKÜL: Elektromanyetik kuvvetlerle bir arada duran atom topluluğu. Yalnızca karbon hem kendisiyle hem de diğer atomlarla kenetlenerek çok sayıda molekül oluşturabilir. Bu nedenle, kimyagerler molekülleri organik (karbon bazlı) ve inorganik (geriye kalan diğerleri) olarak ikiye ayırmaktadır.

MOMENTUM: Momentum, bir cismi durdurmak için ne kadar kuvvet gerektiğinin ölçütüdür. Örneğin saatte ancak bir-

kaç kilometre hızla yol alan bir petrol tankerini durdurmak, saatte 200 kilometreyle yol alan bir Formula 1 aracına kıyasla çok daha zordur. Petrol tankerinin daha çok momentumu vardır.

MOMENTUMUN KORUNUMU: Momentumun ne yaratılabileceği ne de yok edilebileceğini ortaya koyan ilke.

MORÖTESİ: Çok sıcak cisimler tarafından yayılan ve güneş yanıklarına yol açan görünmez bir ışık türü.

MUTLAK SIFIR NOKTASI: Ulaşılabilir en düşük ısı düzeyi. Cisim soğutuldukça, atomlarının hareketleri de giderek azalarak küçük titreşimlere döner. -273,15 derecelik mutlak sıfır noktasında ise atomların hareketleri tamamen durur. Fakat Heisenberg belirsizlik ilkesinin mutlak sıfır noktasında bile titreşim yarattığının anlaşılmasıyla, bunun da tam anlamıyla doğru olmadığı ortaya çıkmıştır.

MÜON: Elektronların ağır bir versiyonu gibi davranan, kısa ömürlü atomaltı parçacık.

NEDENSELLİK: Sebeplerin her zaman sonuçlardan önce gelmesi. Nedensellik (ya da sebep-sonuç ilişkisi) fizikte fazlasıyla kutsanmış bir ilkedir. Fakat atomların bozunumu gibi kuantum olaylarının herhangi bir nedene dayanmadığı görülmüştür.

NEWTON'UN EVRENSEL KÜTLEÇEKİM KANUNU: Uzayda tüm cisimlerin birbirlerini, kütleleri ve aralarındaki mesafenin ters karesinin çarpımına bağlı bir kuvvetle çektiğine yönelik fizik kanunu. Diğer bir ifadeyle, cisimler arasındaki mesafe ikiye katlandığında, çekim gücü dört kat zayıflar. Newton'un kütleçekim kanunu, içinde yaşadığımız gündelik dünya açısında kullanılabilir olsa da, bu kanunun aslında yalnızca yaklaşık sonuç verdiği anlaşılmış ve Einstein tarafından genel görelilik teorisi dahilinde geliştirilmiştir.

NÖTRİNO: Işık hızına çok yakın bir hızda hareket eden, çok küçük bir kütleye sahip nötr atomaltı parçacık. Üç türü olan nötrinolar neredeyse maddeyle etkileşime hiç girmezler.

Öte yandan çok fazla sayıda yaratıldıklarında, bir yıldızı süpernovaya çevirerek patlatacak bir güce ulaşabilirler.

NÖTRON: Atom çekirdeğinin iki yapı taşından birisi. Nötronlar protonlarla neredeyse aynı kütleye sahiptir, ancak elektrik yükleri yoktur. Çekirdeğin dışında kararsız bir duruma geçen nötronlar, 10 dakika gibi bir süre içerisinde bozunuma uğrarlar.

NÖTRON YILDIZI: Kendi kütleçekimiyle, içerdiği maddenin çoğunu sıkıştırarak nötrona çevirecek kadar büzülen yıldız. 20-30 kilometre arasında genişliğe sahip tipik bir nötron yıldızından alınan şeker küpü hacmindeki parçanın ağırlığı, tüm insan ırkının ağırlığı kadardır.

NÜKLEER ENERJİ: Bir atom çekirdeği başka bir atom çekirdeğine dönüştüğünde ortaya çıkan fazla enerji.

NÜKLEER FÜZYON: İki hafif çekirdeğin birleşerek daha ağır bir çekirdek oluşturması. Füzyon sonucunda nükleer bağ enerjisi açığa çıkar. İnsan ırkı için en önemli füzyon süreci, güneşin çekirdeğinde hidrojen çekirdeklerinin birleşerek helyum oluşturmalarıdır. Varoluşumuz için şart olan güneş ışığı bu füzyonun bir ürünüdür.

NÜKLEER TEPKİME: Bir atom çekirdeğinin bir başka tür atom çekirdeğine dönüştüğü süreç.

NÜKLEON: Atom çekirdeğinin iki yapı taşı olan proton ve nötronlar için kullanılan terim.

OLAY UFKU: Kara deliğin etrafını sarmış olan tek-yönlü zar. Madde ya da ışık, olay ufkunu aşan hiçbir şey bir daha asla geri çıkamaz.

ÖZEL GÖRELİLİK TEORİSİ: Birisinin, kendisine göre sabit hızla hareket eden bir başkasına baktığında ne göreceğini ortaya koyan Einstein teorisi. Özel görelilik teorisi, diğer çıkarımlarının yanında, hareket halinde olan kişinin hareket ettiği yönde büzülürken, zamanın da bu kişi için yavaşlayacağını ortaya koymaktadır. Bu etki özellikle ışık hızına yaklaşıldığında bariz hale gelir.

PARÇACIK HIZLANDIRICI: Genellikle dairesel bir pistte, atomaltı parçacıklarını çok yüksek hızlara çıkararak birbir-

leriyle çarpıştıran devasa makine. Bu türden yüksek hızlı çarpışmalarda, parçacıkların hareket enerjisi yeni parçacıklara dönüşmektedir.

PARÇACIK FİZİĞİ: Doğanın temel yapı taşlarını ve kuvvetlerini keşfetmeye yönelik araştırmalar.

PAULI DIŞLAMA İLKESİ: İki fermiyonun aynı kuantum durumunu paylaşamaması. Pauli dışlama ilkesi fermiyon olan elektronların birbirleri üstüne çıkarak kümelenmelerini engelleyerek farklı türlerdeki atomların mevcudiyetine ve etrafımızdaki dünyanın çeşitliliğine bir açıklama getirir.

PLANCK ENERJİSİ: Kütleçekiminin doğanın diğer temel kuvvetleriyle aynı güce sahip olduğu süperyüksek enerji.

PLANCK UZUNLUĞU: Kütleçekiminin kuvvet bakımından doğanın diğer temel kuvvetleriyle kıyaslanabilir duruma geldiği, inanılmaz ölçüde küçük uzunluk. Planck uzunluğu bir atomun çapından trilyon çarpı trilyon kat daha küçük bir uzunluk olan 10-35 metreye tekabül eder. Planck uzunluğu Planck enerjisiyle ilişkilidir. Maddenin dalgasal doğası nedeniyle, küçük mesafeler yüksek enerjilerle eşdeğer durumdadır.

PLAZMA: İyon ve elektronlardan oluşan elektrik yüklü gaz.

POZİTRON: Elektronun karşı-parçacığı.

PROTON: Çekirdeğin iki temel yapı taşından birisi. Protonlar, elektronların taşıdığı eksi yüke eşdeğer artı elektrik yükü taşımaktadır.

PULSAR: Kendi ekseni etrafında hızla dönen ve güçlü radyo dalgalarıyla, bir deniz feneri gibi uzayı tarayan nötron yıldızı.

RADYOAKTİF BOZUNUM: Kararsız durumdaki ağır bir atom çekirdeğinin, daha hafif ve daha kararlı bir çekirdeğe dönüşmesi. Radyoaktif bozunum sürecine, alfa ya da beta parçacıklarının veya gama ışınlarının yayılması eşlik eder.

RADYOAKTİVİTE: Radyoaktif bozunum sürecine giren atomların durumu.

RADYUM: 1898 yılında Marie Curie tarafından keşfedilen, yüksek ölçüde kararsız (ya da radyoaktif) element.

SAMANYOLU: Galaksimizin adı.

SANAL PARÇACIK: Heisenberg belirsizlik ilkesinin kısıtlamaları dahilinde, göz açıp kapayıncaya kadar oluşup yok olan kısa ömürlü atomaltı parçacıklar.

SCHRÖDİNGER DENKLEMİ: Olasılık dalgasının ya da dalga fonksiyonunun zamana bağlı değişimini gösteren ve bu yolla bir kuantum sisteminin (mesela bir atomaltı parçacığın) davranışı hakkında bilgi veren denklem.

SICAKLIK: Bir cismin ne kadar sıcak olduğunu belirten nicelik. Cismi oluşturan parçacıkların hareket enerjisiyle bağlantılıdır.

SİCİM TEORİSİ: *Bkz.* Süpersicim Teorisi

SOLUCAN DELİKLERİ: Uzay-zaman içerisinde uzak bölgeleri birbirine bağlayan, tünel benzeri kestirmeler.

SPİN: Gündelik dünyada karşılığı olmayan bir nicelik. Basit bir şekilde ortaya koyacak olursak, spin sahibi atomaltı parçacıklar, kendi etraflarında dönmekte olan topaçlar gibi davranırlar. Gerçekte ise dönmüyorlardır.

SÜPERAKIŞKAN: Belli bir derecenin altında, yukarı doğru akmak ya da geçilmesi imkânsız deliklerden geçmek gibi tuhaf özellikler geliştiren sıvılar. Verilecek en iyi örnek, mutlak sıfır noktasının 2,17 derece üzerinde süperakışkana dönüşen sıvı helyumdur. Süperakışkan durumuna geçen sıvı helyumun olağandışı özellikleri, kuantum teorisine ve helyum atomlarının bozon olduğu gerçeğine dayanmaktadır.

SÜPERİLETKEN: Isısı ultra-düşük derecelere düşürüldüğünde, elektrik akımını sonsuza dek ileten, elektrik direncine sahip olmayan maddeler. Süperiletkenlerde akımın direnci sıfırdır. Bu durum, iletilen parçacıkların fermiyonlardan bozonlara dönüşmesiyle bağlantılıdır. Süperiletkenlerde elektronlar (fermiyonlar), ikişerli olarak bir araya gelerek Cooper çiftlerini (bozonlar) oluşturur.

SÜPERNOVA: Kütleli bir yıldızın dehşet verici bir şekilde patlaması. Bir süpernova kısa bir zaman için, 100 milyar sıradan yıldızın oluşturduğu bir galaksiden daha parlak olabilir. Yıldızların, süpernova patlamasından sonra, aşı-

rı yoğun nötron yıldızlarına, hatta kara deliklere dönüştükleri düşünülmektedir.

SÜPERSİCİM TEORİSİ: Evrenin temel bileşenlerinin, ultra-küçük sicimler olduğunu varsayan teori. Süpersicim teorisine göre, sicimler 10 boyutlu bir uzay-zamanda titreşmektedir. Bu teorinin en çok umut vaat eden tarafı, kuantum teorisi ile genel görelilik teorisini birleştirebilecek gibi görünmesidir.

SÜRÜKLENME: (Frame Dragging) Dönmekte olan kütleli bir cisim tarafından uzay-zamanın sürüklenmesi. Etki, her ne kadar potansiyel anlamda ölçülebilir olsa da, dünyanın çevresinde oldukça düşükken, hızla dönmekte olan bir kara deliğin yakınlarında korkutucu boyutlardadır. Bu türden bir kara delik, bir uzay-zaman girdabının tam merkezinde bulunmaktadır.

ŞİŞME KURAMI: Evrenin, oluşumunun ilk salisesinde, inanılmaz düzeyde hızlı bir genişleme süreci geçirdiğine yönelik kuram. Şişme kuramının, bir anlamda, geleneksel Büyük Patlama'nın öncülü olduğu söylenebilir. Büyük Patlama'yı bir el bombasının patlaması sayacak olursak, bu durumda şişme, bir hidrojen bombasının patlamasına eşdeğerdir. Şişme, Büyük Patlama teorisinin uf'uk problemi gibi sıkıntılı noktalarını çözme potansiyeline sahip bir kuramdır.

TAKYON: Tüm yaşamını ışık hızından daha yüksek bir hızda yol alarak geçiren kuramsal parçacıklar.

TAM GÜNEŞ TUTULMASI: Ay, güneşle dünyanın arasına girdiğinde, ayın diskinin güneşi kapatması.

TARAMALI TÜNELLEME MİKROSKOBU: Bir maddenin yüzeyinde gezdirilen aşırı hassas bir iğnenin yukarı-aşağı hareketlerini maddenin atom haritasını çıkarmak için kullanan cihaz.

TAYF: Işığın bileşenlerine (temel gökkuşağı renklerine) ayrılması.

TAYF ÇİZGİSİ: Atomlar ve moleküller ışığı karakteristik dalga boylarında soğurup yayarlar. Yayımladıklarından daha çok ışığı kendi içlerine çektikleri durumda, sonuç bir

gökcisminin tayfında karanlık bir çizgidir. Tersi şekilde, emdikleri ışıktan daha fazlasını yayımladıklarında ise sonuç parlak bir çizgi olacaktır.

TEKİLLİK: Uzay-zamanın dokusunun delinmesi sonucunda, Einstein'ın kütleçekim teorisiyle (genel görelilik teorisi) tanımlanamayacak duruma geçen nokta. Sıcaklık gibi niceliklerin sonsuza fırladığı evrenin başlangıcında da bir tekillik olduğu düşünülmektedir. Ayrıca her kara deliğin merkezinde de tekillik vardır.

TEMEL PARÇACIK: Maddenin temel yapı taşlarından birisi. Fizikçiler, altı farklı kuark ve altı farklı leptondan oluşmak üzere, 12 temel parçacık olduğuna inanıyor. Ancak düşünülen, kuarkların aslında yalnızca leptonların farklı bir yüzü olduğu.

TEMEL KUVVETLER: Tüm olguların altında yattığına inanılan dört temel kuvvet. Bunlar, kütleçekim kuvveti, elektromanyetik kuvvet, yeğin kuvvet ve zayıf kuvvettir. Fizikçiler, aslında bu dört kuvvetin tek bir süperkuvvetin farklı yüzleri olduğunu düşünmektedir. Yapılan deneyler de, elektromanyetik kuvvet ve zayıf nükleer kuvvetin madalyonun iki yüzü olduğunu ortaya koymuştur.

TERMODİNAMİĞİN İKİNCİ KANUNU: Entropi düzeyinin (ya da bir cismin mikroskobik düzensizliğinin) asla azalmayacağını ortaya koyan kanun. Isının soğuk bir cisimden sıcak bir cisme asla akamayacağını söylemekle eşdeğerdir.

UFUK: Denizde yol alan bir gemiyi çevreleyen ufuk gibi, evrenin de bir ufku vardır. Bunun nedeni, ışığın sonlu bir hıza sahip olması ve evrenin yalnızca belli bir süredir var olmasıdır. Görebildiğimiz cisimler yalnızca, Büyük Patlama sonrasında geçen zaman içinde ışığı bize ulaşabilmiş cisimlerdir. Dolayısıyla gözlemlenebilir evren, merkezinde dünyanın olduğu bir kabarcık ve ufuk da bu kabarcığın yüzeyi olarak düşünülebilir. Her yeni gün evren biraz daha yaşlandığından ve ufuk noktası dışa doğru daha da genişlediğinden ötürü, ışığı bize ulaşan yeni cisimler görünür duruma geçer. Tıpkı ufuk noktasında beliren gemiler gibi.

UFUK PROBLEMİ: Evrenin, Büyük Patlama'da bile birbirleriyle bağlantıları olamayacak kadar uzak parçalarının neredeyse özdeş özelliklere (sıcaklık ve yoğunluk gibi) sahip olması. Teknik anlamda, bu ayrı parçalar her zaman birbirlerinin ufkunun ötesinde bulunmuşlardır. Bu parçaların Büyük Patlama'da bağlantı kurduğuna yönelik bir açıklama getiren şişme kuramı, ufuk problemini çözme potansiyeline sahiptir.

URANYUM: Doğadaki en ağır element.

UZAY-ZAMAN: Genel görelilik teorisine göre uzay ve zaman aynı şeydir ve bu nedenle tek bir isimle anılır. Kütleçekiminin, uzay-zamanın bükülmesi olduğu anlaşılmıştır.

VİSKOZİTE: Bir sıvının iç sürtünmesi. Pekmez gibi bir sıvının viskozitesi yüksekken, suyun viskozitesi düşüktür.

X-IŞINLARI: Yüksek enerjili bir ışık türü.

YARI ÖMÜR: Bir radyoaktif maddedeki atom çekirdeklerinin yarısının bozunması için geçmesi gereken süre. Bir yarı ömrün ardından atomların yarısı, iki yarı ömrün ardından atomların dörtte biri, üç yarı ömrün ardından atomların sekizde biri kalır ve bu şekilde devam eder. Yarı ömür süreleri bir saliseden milyarlarca yıla dek uzayabilir.

YEĞİN NÜKLEER KUVVET: Atom çekirdeği içindeki proton ve nötronları bir arada tutan kısa mesafeli kuvvet.

YEREL OLMAMA: Kuantum teorisine bağlı olan atomların, çok uzak mesafelerle ayrıldıkları zamanlarda bile birbirlerinin durumu hakkında bilgi sahibi olmaya devam etmesi.

YIĞILMA DİSKİ: Kara delik gibi büyük bir kütleçekim kaynağının etrafında, maddenin kendi içine doğru kıvrılarak dönmesiyle oluşan CD şeklindeki disk. Kütleçekimi kaynağından uzaklaştıkça zayıfladığından ötürü, diskin dış kesimlerindeki madde, iç kesimlere kıyasla daha yavaş döner. Maddenin farklı hızlarda hareket ettiği kesimler arasındaki sürtünme, diski milyonlarca derecelik bir sıcaklığa çıkarır. Kuasarların, olağanüstü düzeydeki parlaklıklarını, süperkütleli kara delikleri çevreleyen muazzam sıcaklıktaki yığılma disklerine borçlu olduğu düşünülüyor.

YILDIZ: Kaybettiği ısıyı, çekirdeğinde ürettiği nükleer enerjiyle ikmal eden dev gaz topu.

YILDIZLARARASI ORTAM: Yıldızlar arasında sürüklenen ince gaz ve toz bulutlarının oluşturduğu ortam. Güneşin yakınlarındaki bölgelerde bu gaz bulutu her üç kubik santimetrede bir hidrojen atomu içerdiğinden, dünyada üretebildiklerimize kıyasla çok daha iyi bir vakum oluşturur.

YILDIZLARARASI UZAY: Yıldızlar arasındaki uzay.

YOĞUNLUK: Bir cismin kütlesinin hacmine oranı. Havanın düşük bir yoğunluğu varken, demirin yoğunluğu çok yüksektir.

ZAMAN DÖNGÜSÜ: *Bkz.* Kapalı Zamansı Eğriler

ZAMAN MAKİNESİ: *Bkz.* Kapalı Zamansı Eğriler

ZAMANDA YOLCULUK: Geçmişe ya da geleceğe yolculuk. Geleceğe yolculuk yapabilmek (ya da bu tabiri kullanabilmek) için, bir senede, bir seneden daha ileriye gitmek gerekir.

ZAMANDA YOLCULUK PARADOKSU: Zamanda yolculuğun izin veriyor gibi göründüğü mantıksız durumlar. Zamanda yolculuk paradokslarından en ünlüsü, geçmişe dönüp anneniz henüz doğmadan önce büyükbabanızı vurmanız üzerine kurulu olan büyükbaba paradoksudur. Bu durumda anneniz doğmayacağı için siz de doğmuş olamazsınız.

ZAMANIN GENLEŞMESİ: Işık hızına yakın bir hızda hareket eden ya da çok büyük kütleçekimi altındaki bir gözlemci için zamanın yavaşlaması.

ZAYIF NÜKLEER KUVVET: Yeğin nükleer kuvvetten sonra, atom çekirdeği içindeki proton ve nötronların maruz kaldıkları ikinci kuvvet. Zayıf nükleer kuvvet bir nötronu protona çevirerek beta bozunumu sağlayabilir.

ALFA Bilim Dizisi

Atomların Dansı
Evren Hakkında Bilmeniz Gereken Herşey
Marcus Chown / çev: İmge Tan

Tanrı Beyni
Beyin Neden İnanç Üretir?
L.Tiger & M. McGuire /
çev: Ayşe Seda Toksoy

Mem Makinesi
Genetik Evrimin Devamı Olarak Kültürel Evrim
Susan Blackmore / çev: Nil Şimşek / Önsöz: Richard Dawkins

Şakanın Ardından
Postmodernizmin Bilimsel, Felsefi ve Kültürel Eleştirisi
Alan Sokal /
çev: Gülsima Eryılmaz

Düşüncenin Kökeni
Beynimiz Nasıl Çalışır
Andrew Koob /
çev: Nilgün Güngör

Büyük Buluşlar
Tıp Alanında 10 Önemli Buluş
Jon Queijo / çev: Ekin Duru

İnanan Beyin
İnançları Doğru Gibi Kurgulama ve Pekiştirme Süreci
Michael Shermer /
çev: Nurettin Elhüseyni

Uzayın ve Zamanın Doğası
İçinde Yaşadığımız Evrenin Gerçekliği
Stephen Hawking & Roger Penrose / çev: Umur Daybelge

101 Soruda Kuantum
Göremediğiniz Dünya Hakkında Bilmeniz Gerekenler
Kenneth W. Ford /
çev: Barış Gönülşen

Memetik Evrim
Nasıl Düşündüğünüz Üzerine Yeni Bir Kuram
Robert Aunger / çev: Sinem Çevik

Empatik Beyin
Ayna Nöronlarının Keşfi İnsan Doğasını Anlama Yetimizi Nasıl Değiştirdi?
Christian Keysers /
çev: Aybey Eper

Sevişen Beden
Her Yönüyle Kadın ve Erkek Cinselliği
Sharon Moalem /
çev: Begüm Turgut

Nasıl Yaşarız Neden Ölürüz
Hücrelerin Bilinmeyen Yaşamı ve Evrimi
Lewis Wolpert / çev: Cansu Bilgici, Tufan göbekçi

Hazzın Bilimi
Sevdiğimiz Şeyleri Neden Sevdiğimiz Hakkında Yeni Bilim
Paul Bloom / çev: Ahmet Birsen

Madde ve Bilinç
Zihin Felsefesine Güncel Bir Bakış
Paul M. Churchland / çev: Berkay Ersöz / Önsöz: Saffet Murat Tura

Virüs Gezegeni
Yaşam ve Ölüm Veren Ezeli Yoldaşlar
Carl Zimmer / çev: Müzeyyen Aykaç

Üç Adımda Evren
Güneşimizden Kara Deliklere, Kara Enerji'den Kara Madde'ye Evrenin Gizemi
David Garfinkle & Richard Garfinkle /
çev: Deniz Guliyeva Tarcan

Dost ve Düşman Bakteriler
Dünyanın Neden Bakterilere İhtiyacı Var?
Anne Maczulak /
çev: Burcu Münevveroğlu

Yapay Maymun
Teknoloji İnsan Evrimini Nasıl Değiştirdi
Timothy Taylor /
çev: Nimet Aylin Muhaddisoğlu

Rastlantı ve Zorunluluk
Modern Biyolojinin Doğa Felsefesi
Jacques Monod /
çev: Elodie Eda Moreau

Arşimet'in El Yazmaları
Dünyanın En Önemli El Yazmasının Ortaya Çıkışı
Reviel Netz & William Noel /
çev: Zennur Anbarcıoğlu

Benim Gözümden Dünya
Albert Einstein /
çev: Demet Evrenosoğlu

Sınırları Aşmak
Beyin ve Makineyi Birbirine Bağlayan Yeni Nöroloji ve Değişen Hayatlarımız
Miguel Nicolelis /
çev: Kerem Çiftçioğlu

Uranyum Savaşları
Nükleer Çağı Başlatan Bilimsel Rekabet
Amir D. Aczel /
çev: Barış Gönülşen

Çoklu Evrenler
Kuantum Fiziğinin Evrenleri
John Gribbin / çev: Emin Karabal

İlk Şempanze
İnsanın Kökeninin Arayışı
John Gribbin John Gribbin /
çev: Özge Kelekçi

Kültürün Darwincileşmesi
Memetik Biliminin Değerlendirmesi
Robert Aunger / çev: Ayça Sağlam

Tüketimin Evrimi
Cinsiyet, Statü ve Tüketim
Geoffrey Miller /
Çev: Gülçin Vardar

Fizik Yasaları Üzerine
Richard P. Feynman /
çev: Nermin Arık

Neden Sizden Başka Herkes İkiyüzlüdür
Evrim ve Modüler Akıl
Robert Kurzban / çev: Zafer Avşar

Darwin ve Evrim Teorisi
Evrimi Anlamak İçin Binbir Hayvan Hikayesi
Marc Giraud / çev: Özgü Berksoy

Büyük Patlamanın Işığı
Zamanın Başlangıcından Gelen Mesaj
Marcus Chown /
çev: Çiğdem Çevrim

Son Moda Saçmalar
Postmodern Aydınların Bilimi Kötüye Kullanmaları
Alan Sokal & Jean Bricmont /
çev: Barış Gönülşen

21. Yüzyıl İçin Einstein
Bilim, Sanat ve Modern Kültüre Bıraktığı Miraz
Peter L. Galison, Gerald Holton ve Silvan S. Schweber
çev: Nursel Yıldız

Güvenen Beyin
Nörobilim Ahlak Hakkında Bize Ne Anlatır?
Patricia S. Churchland
çev: Yelda Türedi

Eminim Şaka Yapıyorsunuz Bay Feynman
Meraklı Bir Şahsiyetin Maceraları
Richard P. Feynman /
çev: Tuncay İncesi

Kara Delikler ve Bebek Evrenler
Stephen Hawking /
çev: Nezihe Bahar

Marcus Chown

BİRAZ KUANTUMDAN ZARAR GELMEZ

Evren hakkında kışkırtıcı bir kılavuz

Tüm insan ırkı bir küp şekerin sahip olduğu hacme sığdırılabilir. Zamanda yolculuk fizik kurallarına aykırı değildir. Bir atom aynı anda birçok farklı yerde bulunabilir. Tıpkı sizin aynı anda hem New York hem de Londra'da bulunmanız gibi... Bu cümlelerin bir bilimkurgu filminden alındığını düşünüyorsanız yanılıyorsunuz.

Bilimin kendisi bilimkurgudan çok daha çarpıcı bilgiler içeriyor. Evren bugüne kadar icat edilmiş her şeyden çok daha etkileyici. Modern fiziğin iki büyük teorisi bizlere bu harikulade gösterinin kapılarını açıyor: Kuantum Teorisi ve İzafiyet Teorisi. Mikroskobik dünyadan zaman makinelerine, şizofren atomlardan kuantum bilgisayarlarına, karadeliklerden evrenin ilk salisesine uzanan Marcus Chown, kullandığı yalın dil ve verdiği pratik örneklerle modern fiziğin temel fikirlerini sarmış olan sisi dağıtarak, başka bir illüzyona inanmaya gerek duymayacağımız ölçüde büyüleyici bir evrende olduğumuzu gösteriyor.

Okuyucular harika şeyler keşfedecekler.

– *The Times*

Modern zamanların en büyük etelleküel başarılarını özetliyor.

– Bill Thompson, *New Humanist*

Bu kitap popüler bilimin olgun edebiyat olduğunun ispatı.

– Tom Chivers, *The Telegraph*

THG
0199651
DNB

ALFA
www.alfakitap.com
/alfakitap
/alfakitap

ALFA BİLİM-EVREN
ISBN 978-605-106-073-6
9 786051 060736