

Keyifli Okumalar Dileriz

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

RESMİ WEB SİTEMİZ

<https://rantey.org>

Yedek ve Duyuru Kanallarımız

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

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

JOHN GRIBBIN

ALTI OLASILIKSIZ ŞEY

*Kuantum
Bilgisayarlardan
Çoklu Evrenlere*

ALFA | BİLİM

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

Kuantum fiziği tuhaftır, çünkü dünyanın atomlar ve atomaltı parçacıklar düzeyindeki işleyişini düzenleyen kuantum dünyasının kuralları, aşına olduğumuz ve “sağduyu” adını verdiğimiz kavramın kurallarıyla aynı değildir. Kuantum kuralları bize bir kedinin aynı zamanda hem canlı hem de ölü olabileceğini ve bir parçacığın aynı anda iki yerde bulunabileceğini söylüyor. Hatta o parçacık hem de bir dalgadır ve kuantum dünyasındaki

her şey başlı başına dalgalar üzerinden açıklanabilir. Schrödinger dalgaların kuantum dünyasını tarif eden denklemleri, Heisenberg parçacıkların kuantum dünyasını tarif eden denklemleri, Paul Dirac ise o kuantum dünyasını tarif etmeleri bakımından gerçekliğin bu iki versiyonunun birbirine tamı tamına denk olduğunu buldu. Bütün bunlar 1920’lerin sonunda netlik kazanmıştı. Ancak bugüne kadar olup bitenlere hiç kimsenin sağduyuya sığan bir açıklama getirememesi, sıradan faniler şöyle dursun, çoğu fizikçi de büyük bir huzursuzluk yaratmakta. Ama kimi fizikçilerse başka yollardan teselli aradılar. Ünlü bilim yazarı ve fizikçi Gribbin bu kitabında belli başlı altı kuantum tesellisini masaya yatırarak, kuantum fiziğinde neyi anlayıp neyi anlamadığımızı ayrıntılarıyla gözler önüne seriyor.

“Kuantumla ilgili her şey için erişilebilir bir başlangıç kitabı.”

– *Sunday Times*

“Gribbin bize böylesine geniş bir alan için olağanüstü bir kesinlik ve netlik şöleni sunarak, çok karmaşık fikirleri ulaşılabılır bir şekilde özetlemeyi başarıyor. İngiliz popüler biliminin bu büyük ustasının şimdiye kadar ürettiği en iyi eser olabilir.”

— *Popular Science (UK)*



ALFA

📷 alfakitap

🐦 alfakitap

f alfakitap

www.alfakitap.com



BİLİM

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

ALTI OLASILIKSIZ ŞEY

JOHN GRIBBIN (1946)

Tam zamanlı bir bilim yazarı olmadan önce Cambridge Üniversitesinde astrofizik bölümünde eğitim görmüştür. *Nature* ve *New Scientist* için çalışmalar yapan Gribbin ayrıca *The Times*, *The Guardian* ve *The Independent*'a bilim dalında yazdığı makalelerle katkıda bulunmuştur. Ayrıca BBC Radyo 4 için de pek çok bilim dizisi hazırlamıştır. John Gribbin yazıları nedeniyle İngiltere ve Amerika'da pek çok ödül almıştır. Halen Sussex Üniversitesi Astronomi Bölümünde misafir araştırmacı olarak görev yapmaktadır. Alfa Bilim Dizisinden çıkan kitapları şunlardır: *Çoklu Evrenler*, *İlk Şempanze*, *Derin Basitlik*, *Schrödinger ve Kuantum Devrimi*, *Bilim Tarihi*, *Her Şeyin Nedeni*, *Evren ve İnsan Olmak*. John Gribbin ayrıca *Innervisions* [İçgörü] dahil olmak üzere pek çok bilimkurgu eserinin de yazarıdır. Doğu Sussex'te yaşayan Gribbin evli ve iki çocuk babasıdır.

ARDA BARIŞTA (1985)

İstanbul'da doğdu. 2004 yılında Kadıköy Anadolu Lisesini bitirdi. İstanbul Teknik Üniversitesinin Tekstil Mühendisliği bölümünden 2010 yılında mezun olduktan sonra İngiltere'deki School of Oriental and African Studies'de iktisadi kalkınma üzerine aldığı yüksek lisans eğitimini 2014'te tamamladı. Profesyonel çevirmen olarak sürdürdüğü mesleki hayatında, Alfa Bilim Dizisinden *Derin Basitlik: Kaos, Karmaşa ve Yaşamın Ortaya Çıkışı* (J. Gribbin) ve *Kopernik: Göklerin Devrimcisi* (J. Freely) gibi kitapları Türkçeye kazandırdı.

Altı Olasılıksız Şey

© 2019, ALFA Basım Yayım Dağıtım San. ve Tic. Ltd. Şti.

Six Impossible Things

© 2019, John and Mary Gribbin

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

Yayıncı ve Genel Yayın Yönetmeni M. Faruk Bayrak

Genel Müdür Vedat Bayrak

Yayın Yönetmeni Mustafa Küpüşoğlu

Dizi Editörü Kerem Cankocak

Çeviren Arda Barışta

Kapak Tasarımı Füsün Turcan Elmasoğlu

Sayfa Tasarımı Mürüvet Durna

ISBN 978-625-449-601-1

1. Basım: Mayıs 2022

Baskı ve Cilt

Melisa Matbaacılık

Çiftelhavuzlar Yolu Acar Sanayi Sitesi No: 8 Bayrampaşa-İstanbul

Tel: 0(212) 674 97 23 Faks: 0(212) 674 97 29

Sertifika no: 45099

Alfa Basım Yayım Dağıtım San. ve Tic. Ltd. Şti.

Alemdar Mahallesi Ticarethane Sokak No: 15 34110 Cağaloğlu-İstanbul

Tel: 0(212) 511 53 03 (pbx) Faks: 0(212) 519 33 00

www.alfakitap.com - info@alfakitap.com

Sertifika no: 43949

JOHN GRIBBIN

**ALTI
OLASILIKSIZ
ŖEY**

Çeviren: Arda BariŖta

ALFA

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	Ne Oluyor Alfie? Kuantum Teselli İhtiyacı, 11
BİRİNCİ BÖLÜM	Esas Gizem, 15
İKİNCİ BÖLÜM	Dolanık Ağ, 25
1. TESELLİ	Pek de Muhteşem Olmayan Kopenhag Yorumu, 37
2. TESELLİ	Pek de İmkânsız Olmayan Pilot Dalga Yorumu, 49
3. TESELLİ	Fazla Yük Getiren Çoklu Dünyalar Yorumu, 59
4. TESELLİ	Uyumsuz Eşevresizlik Yorumu, 71
5. TESELLİ	Yorum Olmayan Küme Yorumu, 81
6. TESELLİ	Zamanüstü İşlemsel Yorum, 91
Sonuç	Akıl Sağlığıyla İlgili Bir Koşul Yok, 103 İlave Okuma, 104

“Alice kahkahayı bastı: ‘Denemek fayda etmez,’ dedi, ‘imkânsız şeylere inanılmaz ki.”
“Galiba sen pek alıştırma yapmamışsın” dedi Kraliçe. “Ben küçüklüğümde bunu hep günde yarım saat yapardım. Hatta yer yer kahvaltı öncelerinde altı imkânsız şeye inanmışımdır.”

Alice Harikalar Diyarında

TESELLİ: *a.* Çok sıkıntılı bir zamanda erişilen rahat veya avuntu.

ÖNSÖZ

Ne Oluyor Alfie? Kuantum Teselli* İhtiyacı

Kuantum fiziği tuhaftır. En azından bize tuhaf gelir, çünkü dünyanın atomlar ve atomaltı parçacıklar düzeyindeki işleyişini (Richard Feynman'ın tabiriyle ışığın ve maddenin davranışını) düzenleyen kuantum dünyasının kuralları, aşina olduğumuz ve "sağduyu" adını verdiğimiz kavramın kurallarıyla aynı değildir.

Görünen o ki, kuantum kuralları bize bir kedinin aynı zamanda hem canlı hem de ölü olabileceğini ve bir parçacığın aynı anda iki yerde bulunabileceğini söylüyor. Hatta o parçacık hem de bir dalgadır ve kuantum dünyasındaki her şey başlı başına dalgalar üzerinden açıklanabilir, ya da başlı başına parçacıklar üzerinden; tercih size kalmış. Erwin Schrödinger dalgaların kuantum dünyasını tarif eden denklemleri, Werner Heisenberg parçacıkların kuantum dünyasını tarif eden denklemleri, Paul Dirac ise o kuantum dünyasını tarif etmeleri bakımından gerçekliğin bu iki versiyonunun birbirine tamı tamına denk olduğunu buldu. Bütün bunlar 1920'lerin sonunda netlik kazanmıştı. Ancak, olup bitenlere hiç kimsenin (o zaman da, o zamandan beri de) sağduyuya sığan bir açıklama getire-

* *Quantum of Solace* filmine gönderme -yn.

memesi, sıradan faniler şöyle dursun, çoğu fizikçide büyük bir huzursuzluk yarattı.

Buna verilen bir karşılık, ortadan kalkması ümidiyle problemi görmezden gelmek olmuştur. Lazer tasarlamak, DNA'nın yapısını açıklamak ya da kuantum bilgisayar üretmek gibi şeyler yapmak istiyorsanız, denklemler (hangi versiyonu tercih ederseniz edin) işe yarıyor. Nesillerce öğrenciye “Çenenizi kapatıp hesap yapın” dendi: “Denklemler ne anlama geliyor diye sormayın, siz karışık hesaplamaları çözmeye bakın.” Kulaklarınızı tıkayıp “Lay lay lay, seni duyamıyorum ki” diye bağarmakla aynı şeydir bu. Daha dikkatli fizikçilerse başka yollardan teselli aradılar. Kuantum dünyasında olup bitenleri “açıklamak” için iyi kötü birtakım çareler buldular.

Söz konusu çareler, başka bir deyişle kuantum tesellileri, “yorumlar” olarak adlandırılır. Denklemler düzeyinde bu yorumların hiçbirisi diğerinden üstün olmamasına rağmen yorumcular ve onların taraftarları size kendi yorumlarının yegâne hakiki inanç, öbür inançların taraftarlarının da sapkın olduğunu söyleyeceklerdir. Diğer yandan yorumların hiçbirinin matematik açısından diğerlerinden aşağı kalır yanı yoktur. Yani çok büyük ihtimalle bir şeyi es geçiyoruz. Günün birinde dünyaya dair, günümüzdeki kuantum kuramıyla aynı öngörülerde bulunmakla kalmayıp makul de olan yeni ve harikulade bir tanım bulunabilir. Hiç değilse bulunmasını umabiliriz.

Ben de bu zaman zarfında kuantum fiziğinin başlıca yorumlarından bazılarına ilişkin tarafsız bir genel bakış sunmanın faydalı olabileceğini düşündüm. Sağduyuyla kıyaslandığında bunların tamamı uçuk kaçıktır, bazıları da diğerlerinden uçuk kaçıktır. Ama bu dünyada uçuk kaçık demek, mutlaka yanlış anlamına gelmez; daha uçuk kaçık da her zaman daha yanlış anlamına gelmez. Büyük

oranda *Alice*'ten yapılan alıntıyı gerekçelendirmek maksadıyla, yarım düzine geleneğini bozmayıp altı örnek seçtim. Bunların hangilerinin diğerlerinden doğru olduğuna ilişkin şahsi görüşlerimi açığa vurmadan seçimi size bırakmayı umuyorum; hatta kulaklarınızı tıkayıp "Lay lay lay, seni duyamıyorum ki" bile diyebilirsiniz.

Gelgelelim bu yorumları sunmadan önce, yorumlamaya çalıştığımız şeyin ne olduğuna açıklık getirmem gerekiyor. Bilimin gidişatı genelde düzensizdir. Buna rağmen, bizim durumumuzda iki bölümlük bir düzenle başlayarak Charles Lutwidge Dodgson'ı bir kez daha selamlamak yerinde olur gibi görünüyor.

John Gribbin
Haziran 2018

Birinci Bölüm

ESAS GİZEM

Kuantum dünyasının tuhaflığı, yaygın olarak “çift yarık deneyi” olarak adlandırılan deneyle kısa yoldan anlatılabilir. Kuantum fiziğine katkılarından dolayı Nobel Ödülüne layık görülen Richard Feynman bu deney için “iki delikli deney” tabirini uygun görmüş ve “klasik herhangi bir yol izlenerek açıklanması kesinlikle imkânsız ve içerisinde kuantum mekaniğini barındıran bir olgu” olduğunu ifade etmiş, “gerçekte, biricik gizemi, bütün kuantum mekaniğinin başlıca garipliklerini içerir” demiştir.¹ Söz konusu deneyi yalnızca, ışığın bir dalga biçimi olduğunun “ispatlandığı,” okullarda verilen fizik derslerinden hatırlayan birine bu şaşırtıcı gelebilir.

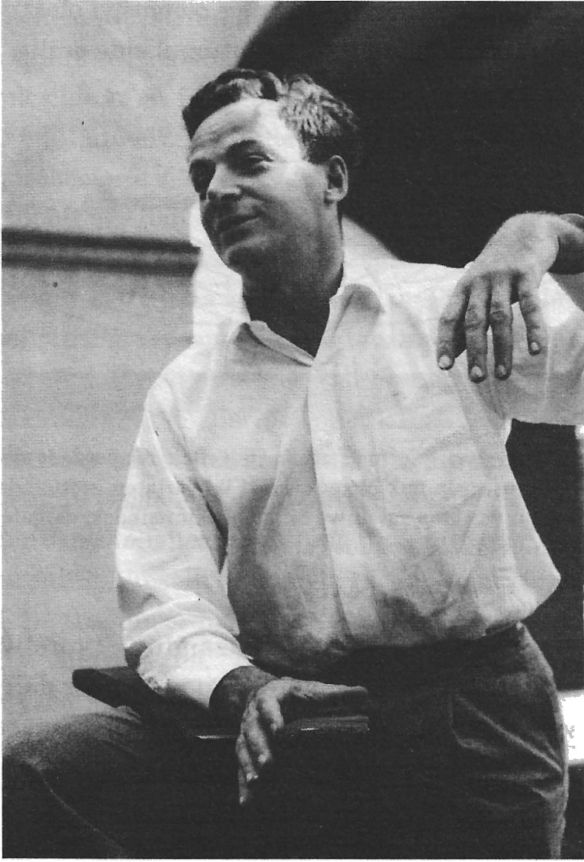
Deneyin okul versiyonunda, karanlık bir odanın içerisinde, üzerinde iki iğne deliği açılmış basit bir perdenin (bir karton levhanın veya kâğıdın) üzerine ışık tutulur. Deneyin bazı farklı versiyonlarında deliklerin yerine paralel iki ince yarık vardır. Perdenin arkasında, üzerinde delik bulunmayan bir perde daha vardır. Birinci perde-deki iki delikten geçen ışık ikinci perdeye doğru ilerleyip

¹ *Lectures on Physics*, Volume III [Fizik Dersleri, 3. cilt, çev: Murat Metehan Türkoğlu, Alfa Yayınları, 2020]. “Kuantum fiziği” ve “kuantum mekaniği” terimleri bu bağlamda birbirinin yerine kullanılabilir. “Klasik” fizik görelilik ve kuantum kuramından önceki her şeyi ifade eder.

orada ışık ve karartıdan oluşan bir örüntüyü meydana getirir. Işığın iki delikten dışarıya yayılış şekline kırınım denir. İki delikten de teker teker geçtikten sonra yayılıp birbiriyle girişim yapan iki ışın demetinin sonucu olduğundan, örüntüye de girişim örüntüsü denir. Işık bir dalga biçimi olarak ilerlediğı takdirde belirmesi beklenecek örüntünün tıpatıp aynısıdır bu. Dalgalar kimi yerlerde birbirlerine eklenerek ikinci perdede aydınlık bir kısım oluştururken, diğ r yerlerde bir dalganın tepesi diğ r dalganın  ukuruyla karşılaşır ve bunlar birbirini ortadan kaldırarak geriye karanlık bir kısım bırakır. Durgun bir su birikintisine aynı anda bırakılan iki çakıl taşının suda oluşturduğı dalgalanmada bu girişim örüntüsünün tıpatıp aynısı görülebilir. Bu girişim türünün ayırt edici özelliklerinden biri, ikinci perdedeki en aydınlık kısmın iki deliğın de tam arkasında değıl, o iki noktanın tam ortasında bulunmasıdır. Işık aslında bir parçacık akısı olsaydı, ikinci perdenin tam da bu kısmının tamamen karanlık kalması beklenirdi. Işık bir parçacık akısından oluşsaydı, deliklerin arkasında birer aydınlık kısım, aydınlık kısımların arasında da karartı olması beklenirdi.

Buraya kadar sorun yok. Thomas Young'ın on dokuzuncu yüzyılın başlarında fark ettiğı gibi, ışığın dalga olarak ilerlediğı böylece kanıtlanmış olur. Ancak ne yazık ki, yirminci yüzyılın başlarındaki başka bir deneyle ışığın bir parçacık akısı olarak davrandığı ortaya koyuldu. Bu deneylerde metal bir yüzeyden bir ışın demeti vasıtasıyla elektronlar s k l r. Bu işleme fotoelektrik olay denir.

Koparılan elektronların enerjisi ölçüldüğünde, verilen her ışık rengi için her elektronun enerjisinin daima aynı olduğı anlaşıldı. Parlak bir ışıkla daha çok elektron koparılır ama yine de her elektronun enerjisi birbiriyle aynıdır. Işık loşlaştırıldığında koparılan daha az sayıdaki

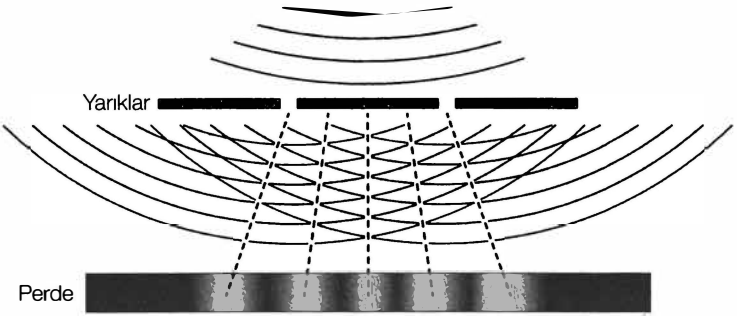


Richard Feynman

@Getty Images

elektronun her birinin enerjisi için de bu geçerlidir. Albert Einstein bunu günümüzde foton adını verdiğimiz ışık parçacıklarıyla (ya da Einstein'ın dilinde, ışık kuantumlarıyla) açıkladı. Bir fotonun taşıdığı enerji miktarı ışığın rengine bağlıdır, ama herhangi bir renk için tüm fotonlar aynı enerjiye sahiptir. Einstein'ın belirttiği gibi, "en basit anlatımla, bir ışık kuantumu, enerjisinin tamamını tek bir elektrona aktarır." Işığın şiddetini artırmakla yalnız-

ca, her biri aynı enerjiyi taşıyan ve o enerjiyi elektronlara verecek daha çok foton (ışık kuantumu) elde edilir.



Dalgalar noktali çizgilerin üzerinde kuvvetlenerek perdede aydınlık kısımları oluşturur. Işık bir perdedeki iki yarıktan geçtiğinde dalgalar her bir yarıktan yayılır ve bir su birikintisindeki dalgalanmaya benzer bir girişim örüntüsü oluşur.

Einstein'a Nöbel Ödülünü kazandıran, görelilik kuramları değil, bu çalışmasıydı. Işığı yüz yıldır dalga olarak hayal eden fizikçilerin onu artık parçacık olarak hayal etmeye başlaması gerekiyordu. İyi ama delikli deney nasıl açıklanacaktı?

İşler iyice sarpa sardı. Fotoelektrik olay deneylerinin ışığın dalga niteliğini şüpheli hale getirmesinden sonra, 1920'li yıllarda, atomaltı dünyasının ilkörnek parçacıkları olan elektronların dalga davranışı sergileyebildiğine işaret eden deliller karşısında fizikçiler şaşkına döndüler. İlgili deneylerde elektronlar fırlatılıp, bir milimetrenin on binde biri ile yüz binde biri kalınlığındaki ince altın folyo levhalardan geçiriliyor ve diğer tarafta inceleniyordu. Araştırmalar elektron demetlerinin, metaldeki atom dizilerinin arasındaki boşluklardan geçerken, tıpkı iki delikli deneydeki ışığın deliklerden geçerken uğradığı gibi kırınım uğradığını ortaya koyuyordu. Bu deneyleri yürüten Ge-

orge Thomson elektronların dalga olduğunu ispatlayarak Nobel Ödülü aldı. Babası J. J. Thomson'sa elektronların parçacık olduğunu ispatlayarak Nobel Ödülü almıştı (ve George ödülünü aldığı sırada hâlâ hayattaydı). İki ödül de haklı gerekçelerle verildi. Kuantum dünyasının tuhaflığını başka hiçbir şey daha açık bir şekilde göz önüne seremez. Gelgelelim hikâye burada bitmiş değil.

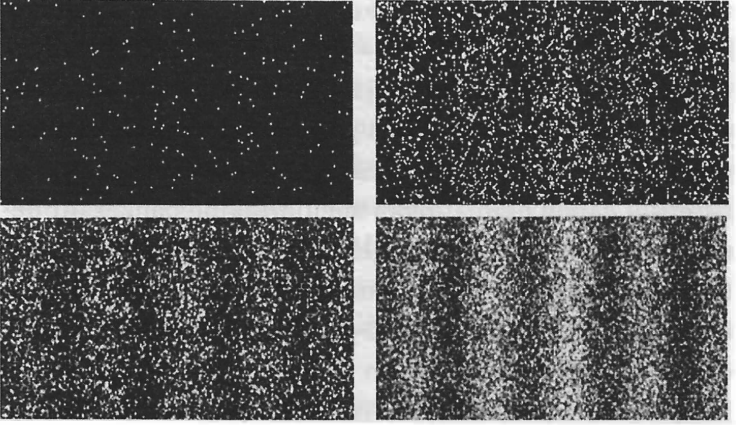
1920'lerden bu yana kuantum mekaniğinin anlamı üzerine geliştirilen kuramların merkezinde dalga-parçacık ikiliği adıyla bilinirlik kazanan bilmece yer alıyordu. Kuantum mekaniğinin temellerine yönelik bu kuram geliştirme girişimlerinin büyük bölümü daha ileride değindiğim teselli sundu fizikçilere. Ama bilmece 1970'lerde başlayan enfes bir deney silsilesi sayesinde tüm ihtişamıyla meydana çıkarılabildi. Teselli arayışıyla geçen yarım yüzyılı, esas gizemle ilgili güncel bulguları size sunabilmek amacıyla şimdilik atlayacağım. Okuyacaklarınızı kabullenmekte güçlük çekerseniz aklınıza Mark Twain'in şu sözü gelsin: "Hakikat kurgudan daha tuhaftır çünkü kurgu olasılıklara bağlı kalmak zorundadır; hakikat öyle değildir."

1974 yılında, Pier Giorgio Merli, Gian Franco Missiroli ve Giulio Pozzi adlı üç İtalyan fizikçi, elektronlarla yapılan iki delikli deneyin bir eşdeğerini gözlemelerini sağlayacak bir teknik geliştirdiler. Işın demeti yerine, sıcak bir telden ayrıştırılıp elektron çift prizması denen bir aygıt-tan geçen bir elektron demetini kullandılar. Elektronlar çift prizmaya tek bir girişten girer, ama karşılaştıkları bir elektriksel alan nedeniyle demet ikiye ayrılır ve elektronların yarısı bir çıkıştan, diğer yarısı başka bir çıkıştan çıkar. Ardından bilgisayar ekranına benzer bir algılayıcı ekrana ulaşırlar ve buraya ulaşan her bir elektron beyaz bir nokta oluşturur. Beyaz noktalar kaybolmadığından, deneyden geçen elektronlar çoğaldıkça ekranın üzerinde

bir örüntü meydana gelir. Tek bir elektron ateşlenip çift prizmadan geçirildiğinde, elektronun iki yönden birine gitmesi olasılığı yüzde 50'dir ve ekranda tek bir nokta oluşturur. Deneyde çok sayıda elektrondan oluşan bir demet ateşlendiğinde ekranda üst üste binen birçok nokta oluşur ve bu noktaların birleŐimi bir örüntüyü meydana getirir: dalgalardan beklenen girişim örüntüsünü.

Bu tek başına çok da endiŐe verici değildir. Elektronlar parçacık olsa dahi demetin içerisindeki sayıları çok olduğundan, deney boyunca izledikleri yolda birbirleriyle etkileşime giriyor olabilir, girişim örüntüsünü de bu sebeple meydana getiriyor olabilirler. Sonuç itibarıyla su dalgaları girişim örüntüsü oluşturur ve su, parçacık sayılabilecek moleküllerden oluşur. Ama konumuz henüz sona ermiŐ değil.

İtalyanların deneyi öylesine hassastı ki elektronlar bir defada teker teker ateŐlenebiliyor, iŐlek bir havaalanından kalkan yolcu uçakları gibi yollarına  ıkarılabiliyordu. Tıpkı bu uçaklar gibi elektronların da aralarında uzun mesafeler vardı. Elektron kaynağıyla (aslında sıcak bir telden biraz daha karmaşıktır) algılayıcı ekranın arasındaki mesafe 10 metreydi ve akıdaki her bir elektron, ondan bir önceki elektron varıŐ noktasına ulaŐmadan kaynağını terk etmiyordu. Algılayıcı ekranda bir örüntü oluŐurtmak üzere deneyde binlerce elektronun peŐ peŐe ateŐlenmesinin sonucunda ne olduğunu (umarım) tahmin edebiliyorsunuzdur. Bir girişim örüntüsü oluŐurdular. Su moleküllerinin etkileŐerek bir örüntü oluŐurtmasındakiyle aynı Şekilde, ayrı ayrı her parçacık diğerleriyle beraber hareket ederek bir örüntüyü oluŐurtuyorduyorsa, demek ki etkileşim hem zamanda hem de uzayda yer alıyordu. Bu deney türüne "tek elektronlu çift yarık kırınımı" adı verildi.



A. Tonomura vd, *Am. J. Phys.* (1989) makalesinden uyarlandı.

Elektronlar ışıqla yapılan çift yarıq deneyinin eşdeğerinde tek tek ateşlendiğinde, her bir elektron algılayıcı ekranda bir ışıqla beneği meydana getirir. Ama benekler, dalgalarınışçasına, zamanla birikerek bir girişim örüntüsünü ortaya çıkarır.

İtalyan ekip elde ettiği şaşırtıcı sonuçları 1976 yılında yayımladı yayımlamasına ama fizik camiasında kendi dalgasını yaratamadı. Kuantum mekaniğinin işleyişi o sıralar çok az sayıda fizikçinin umurundaydı. Denklemler aracılığıyla hesap yapabildikleri ve deneylerin sonucunu doğru tahmin edebildikleri sürece, işliyor oluşu yeterliydi. Bir elektronun veya elektron demetinin A noktasından B noktasına nasıl gittiği, örneğin televizyon tasarlayan bir mühendis için önem taşımaz. Araçlarının kaputunun altında olup bitenlerle ilgilenmemeleri açısından soyu tükenmekte olan otomobil yarışçılarının yine de pistte fırl fırl dönebilmeleri ile bunun arasında bir analogi kurabilirsiniz. Denklemlerin neden işe yaradığını merak eden öğrencilere biraz yarım ağızla verilen tek tavsiye, daha önce de belirttiğim gibi, “çenenizi kapayıp hesap yapın”

oldu. Yani “denklemleri kullanın ama bütünü anlamıyla kafanızı yormayın.”

Bu tutum 1980’li yıllarda, bilhassa İkinci Bölümde söz ettiğim gelişmelerden dolayı gitgide daha yoğun biçimde sorgulandı. Sonuç olarak, Akira Tonomura ve onun önderlik ettiği Japon ekip, İtalyan öncülerinkine benzer bir deneyi 1980’lerin sonundaki geliştirilmiş teknolojiden faydalanarak yürütüp sonuçlarını 1989’da yayımladı ve daha büyük bir yankı uyandırdı. Öyle ki, *Physics World* dergisi okurları 2002’de katıldıkları bir ankette tek elektronlu çift yarık kırınımı deneyini “fizikteki en güzel deney” seçti. Ne var ki, bu deneylerde kafaları kurcalayan bir ayrıntı vardı. Elektron çift prizması deneylerinde, ışıkla yapılan klasik çift yarık deneyindeki birinci perde gibi fiziksel bir engel yoktur ve düzeneğin içindeki iki güzergâh da, diğer bir deyişle iki “kanal” da hep açıktır. 2008 yılında Pozzi ve meslektaşlarından oluşan bir diğer grup, işi bir adım öteye taşıdı. Geliştirdikleri deneyde elektronlar tek tek ateşlenip ince bir perdedeki nano-boyutlu iki özgün fiziksel yarıktan geçirilebiliyor ve diğer tarafta alışıldık şekilde saptanabiliyordu. Beklendiği üzere, algılayıcı ekrana ulaşan elektronlar bir girişim örüntüsü meydana getiriyordu. Oysa İtalyan ekip yarıklardan birini kapatıp deneyi tekrar yürüttüğünde girişim olmuyordu. Algılayıcı ekrandaki örüntü, bir parçacık silsilesinden üretmesi beklenecek şekilde, yarığın tam arkasındaki tek bir benekten ibaretti. Deneyde bir duvardaki delikten yalnız başına geçen tek bir elektron, yakınlarda bir yerlerde içinden geçebileceği başka bir delik olup olmadığını ve o deliğin açık mı yoksa kapalı mı olduğunu nasıl olur da “bilir” ve önündeki uçuş güzergâhını buna göre ayarlar?

Bir sonraki adım kuramsal açıdan açıktı ama uygulanması son derece zordu: nano ölçekte iki delik içeren

ve elektronlar halen uçuştayken deliklerin açılıp kapanabildiği bir deney geliştirmek. Yolculuklarına başladıktan sonra deneyin düzeni değiştirilmesi halinde elektronlar kandırılabilir miydi? Hollanda doğumlu Herman Batelaan'ın önderliğinde ABD'de kurulan bir ekip bu zorlu görevi üstlenip buldukları sonuçları 2013 yılında açıkladı. Deneylerini "The Quantum Mystery" başlıklı Kindle deneme kitabımda halihazırda tarif ettiysem de, kesin sayılar içerdiğinden o anlatımı iyileştirmem mümkün olmadığı için aynen aktarıyorum.

Deneyi yapanlar altınla kaplı silikon bir zara iki yarık açtılar. Zar yalnızca 100 nanometre "kalınlığındaydı" ("inceliğinde" daha uygun bir sözcük olur) ve 2 nanometrelik altınla kaplıydı. İki yarık da 62 nanometre genişliğinde ve 4 mikrometre uzunluğundaydı (1 nanometre 1 metrenin milyarda biri, 1 mikrometre ise 1 metrenin milyonda biridir). Paralel yarıkların arasındaki uzaklık (bir yarığın merkeziyle öbür yarığın merkezinin arasındaki uzaklık ölçüldüğünde) 272 nanometreydi ve can alıcı yeni bir ilerlemenin sonucu olarak, otomatik bir mekanizma (bir piezoelektrik işletici) aracılığıyla zar boyunca kaydırılabilen ufacık bir kapakla yarıkların biri veya diğeri kapatılabiliyordu.

Deneyde düzeneğin içinden saniyede bir elektron geçiyor ve sonuç olarak ekranda örüntünün oluşması iki saat sürüyordu. Baştan sona sürecin görüntüsü kaydedildi. Birbirleriyle ilişkili bir dizi tekrarın ardından ekip, iki yarık da açık olduğunda, bir yarık kapalı olduğunda ve kapak diğer tarafa kaydırılıp öbür yarık kapatıldığında olup bitenleri gözlemledi. Beklediği gibi, iki yarık da açıkken oluşan örüntüde girişim gözleniyor, tek-yarık şıklarının her ikisinde de oluşan örüntülerde girişim gözlenmiyordu. İtalyanların ve Japonların deneylerinde açığa çıkan

(veya belki de “doğrulanana” demeliyim) tüm gizemlere ila-
veta, elektronlar yine kaç yarığın açık olduğunu “biliyor-
du.” GörünüŖe göre elektronların her biri hem düzeneden
geçtiğı andaki deney düzenini hem de kendisinden önce
gitmiş ve sonra gidecek olan elektronlara ne olacağını
“biliyordu.”

Yarım yüzyıl öncesinde Richard Feynman bunun böyle
olacağını tahmin etmişti. Işığın davranışı hakkında o sı-
ralarda bilinenlerden ve elektron dalgalarının keşfinden
yararlanarak, çift yarık deneyini elektronlarla yaptığını
gözünde canlandırmıştı. *Fizik Dersleri* yapıtında, “ilgilen-
diğimiz etkilerin gözler önüne serilebilmesi için düzene-
ğin imkânsız derecede küçük bir ölçekte yapılması gerek-
tiğinden, inşa etmeye çalışmamanız gereken” bir düşünce
deneyini tarif edeceğini söylüyordu. 1965’te imkânsız
olan, 2013’te mümkün oldu. Nanoteknolojiye de merakı
olan Feynman görse çok sevinirdi. Batelaan ve çalışma
arkadaşlarının da dediğı gibi, “Feynman’ın düşünce de-
neyini tamı tamına gerçekleştirdiler.” Bu düşünce deneyi
sahiden de kuantum dünyasının esas gizemini bütün çıp-
laklığıyla açığa çıkarıyordu; “kuantum fiziğinin kalbini,”
“biricik gizemi.” Ama dünya nasıl böyle olabilir, hiç kimse
bilmiyor.

İkinci Bölüm

DOLANIK AĞ

İlerlemeden önce iki delikli deneyden çıkarılması gereken önemli bir ders daha var. Mesele, elektron gibi şeylerin aynı anda hem dalga hem de parçacık olarak davrandığının gözlenmesi değil. Görünüş itibarıyla, deneyde dalgalar gibi ilerliyor ama algılayıcı ekrana parçacıklar gibi ulaşıyorlar. Bazen dalgalar gibi davranıyorlar, bazen parçacıklar gibi. Önemli olan, “-mış gibi” kısmı. Kuantum varlıklarının “gerçekte ne olduklarını” bilmemizin imkânı yok çünkü biz kuantum varlıkları değiliz. Biz sadece, dalgalar ya da parçacıklar gibi doğrudan deneyimimiz olan şeylerle analogi kurabiliriz. Fizikçi Arthur Eddington’ın 1929 yılında buna dikkat çekişi hatırlanmaya değerdir. *The Nature of the Physical World* kitabında Eddington şöyle diyordu:

Elektronun etrafına, aşına olunan hiçbir kavram örülemez ... bir şey, bizim bilmediğimiz bir şeyler yapıyor. [Bu pek de aydınlatıcı bir kuram gibi durmuyor. Bir yerde buna benzer bir şey okumuştum...

The slithy toves

Did gyre and gimble in the wabe.*

* Cıvıcanlı koksuklar / Döndülenip delikazıyordu bayırıbalçıkta. (Lewis Carroll’ın “Jabberwocky” şiiri. Anlamsız fakat kavramların anlamlarını çağrıştıran sözcüklerden oluşan bir şiir.) –çn.

İki delikli deneyde, dalgalar ve parçacıklar olarak davranan elektronlar yerine, döndülenip delikazan cıvıcanlı koksukları düşünmek bizim için sahiden de daha iyi olabilir. Kabak tadı vermemesi için, kuantum dünyasındaki bir olaydan veya varlıktan her söz edişimde “-mış gibi” kalıbını kullanmayacağım. Ama siz yine de kullandığımı varsayın.

Doğrusunu söylemek gerekirse, “döndülenme,” elektronların ve diğer “parçacıkların” temel kuantum özelliklerinden birini tanımlamak için genellikle kullanılan “spin” teriminden daha iyi bir terim olabilir. Spin de dalga veya parçacık gibi samimi, tanıdık bir terim olmakla beraber her ikisi kadar yanıltıcıdır da. Bir kere, denklemler bize bir kuantum varlığının başladığı yere dönebilmesi için iki defa tur atması gerektiğini söyler; fizik açısından bu ne anlama geliyorsa artık (ben katiyen gözümde canlandıramıyorum). Ne var ki, spin birçok kuantum olgusunun ele alınışı bakımından kullanışlı bir özelliktir, çünkü iki türü vardır ve bunlar “yukarı” ve “aşağı” olarak düşünülebilir. Meseleler bu sayede daha basitçe ele alınır ve aşırı derecede karmaşılaşmalarının önüne geçilmiş olur.

Olasılığı örnek alalım. Olasılık kavramını sağlam bir matematiksel dayanağa oturtarak kuantum mekaniği bağlamına yerleştiren kişi Alman fizikçi Max Born’dur. Ama bunun önemini işin matematik boyutuna girmeden elektron spini (ya da Eddington’ın yeğleyebileceği ifadeyle, koksuk döndülenmesi) örneğini kullanarak da kavrayabiliriz. Bir atomdan yayınlanan bir elektronun uzayda ilerlediği bir deneyi (beta bozunumu adı verilen gerçek bir süreçtir bu), kuantum mekaniğinin denklemlerini kullanarak açıklamak mümkündür. Deneyin ideal hale getirilmiş bir versiyonunda elektronun belirli bir spini vardır. Spin ya yukarıdır ya aşağı. Ama hangisi ola-

cağını önceden söylemek mümkün değildir. İki olanağın da şansı yüzde 50'dir. Deneyi bin defa ya da eşzamanlı olarak bin atomla yaparsanız, yukarı spinli 500 elektron (artı-eksi birkaç tane olabilir) ve aşağı spinli 500 elektron elde edersiniz. Ama tek bir elektronu yakalayıp spinini ölçerseniz, aşağı mı yukarı mı olacağını elektrona bakana kadar söyleyemezsiniz.

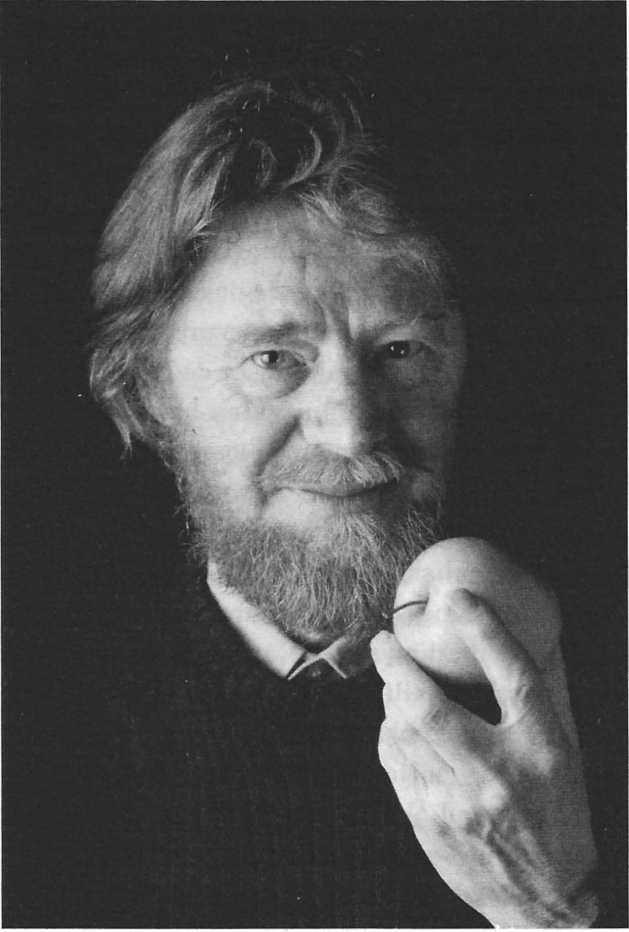
Henüz şaşırtıcı bir şey yok. Ne var ki Einstein, zıt yönlerde uçan iki elektron için, kuantum kuramı denklemleri üzerinden çok şaşırtıcı bir şeyin tahmin edilebildiğini fark etti.¹ Belirli koşullarda, bir korunum yasası geçerlidir. Bu yasa, elektronların spinlerinin, biri yukarı biri aşağı olmak üzere karşıt olmak zorunda olduğunu ve sonuç itibarıyla birbirlerini dengelediklerini söyler. Denklemlerse, kaynaklarından yayınlandıklarında elektronların belirli bir spini olmadığını söyler. Elektronların her biri, yukarı ve aşağı durumlardan oluşan bir karışım halinde bulunur. Bu hale "üst üste gelme" adı verilir ve elektron yalnızca, başka bir şeyle etkileştiğinde hangi spine gireceğine olasılık kuralları gereğince "karar verir." Einstein'ın sarıldığı husus şuydu: Elektronların spinleri karşıt olmak zorundaydıysa, iki elektronun birbirinden ne kadar ayrıık olduğu fark etmeksizin, A elektronu yukarı spinli olmaya "karar verdiği" anda B elektronu aşağı spinli olmak zorundaydı. İlk bakışta elektronlar birbirleriyle ışıktan hızlı iletişim kuruyor gibi görüldüğü ve özel görelilik kuramına göre bu yasak olduğu için Einstein buna "uzaktan hayalet etki" adını verdi.

Einstein'ın düşüncesi Boris Podolsky ve Nathan Rosen adlı iki meslektaşının yardımıyla geliştirilip 1933'te bi-

¹ Einstein aslında bu sürprizi biraz farklı bir açıdan ele aldıysa da spin versiyonunu kavramak daha kolaydır.

limsel bir makale olarak yayımlandı (kimileri bunu yardım değil ayak bağı addeder, çünkü makale kötü yazılmış ve tezi net olarak meydana koyamamıştır). Bu makale, yazarların adlarının baş harfleriyle, EPR makalesi olarak; Einstein'ın parmak basmak istediği şeyse EPR Paradoksu olarak bilinir. Gelgelelim bu aslında paradoks değil, yalnızca bir bilmecedir. 1935 tarihli bilimsel makalesinde bir başka ünlü "paradoksu" tanıtan Schrödinger, iki kuantum sisteminin birbirine uzaktan hayalet etkiyle bağlıymış gibi görünmesine "dolanıklık" adını verdi. EPR makalesinde şöyle denir: Kuantum kuramı "[ikinci sistemin özelliklerinin] gerçekliğini, birinci sistemde yapılan ve ikinci sistemi hiçbir şekilde bozmayan ölçüm sürecine bağımlı hale getirir. Gerçekliğin akla uygun hiçbir tanımının buna olanak tanınması beklenemez." Ekip, "dolayısıyla, fiziksel gerçekliğin kuantum-mekanik tanımının eksik olduğu sonucuna mecburen varırız" şeklinde bir çözüm buluyordu bilmeceye. Einstein'ın düşüncesine göre, gizli değişkenler adı verilen bir çeşit üstü kapalı mekanizma var olmalıydı. Gizli değişkenler bu örnekte, kaynaklarından çıkıp uçuşa geçen elektronların nerede yukarı spinli nerede aşağı spinli olacakları konusunda pek de bir seçenekleri olmamasına, hatta aksine, her şeyin önceden belirlenmesine sebep olmalıydı.

EPR makalesinin yayımlanması uzmanlar arasında hararetli bir tartışma başlattı başlatmasına ama dolanıklığın taşıdığı anlamlar ancak otuz yıllık bir gecikmenin ardından kavranarak gerçek bir ilerleme kaydedilebildi. Zamanının seçkin matematikçilerinden John von Neumann'ın, EPR makalesi yayımlanmadan önce 1932'de çıkardığı kuantum mekaniği konulu etkili kitabında yaptığı bir hata, bu gecikmenin başlıca nedeniydi. Von Neumann o kitapta, gizli değişkenler kuramlarının kuantum dün-



John Bell

Science Photo Library

yasının davranışını açıklayamadığına, yani imkânsız olduklarına dair bir "ispat" sunuyordu. Öylesine seçkin biriydi ki denklemlerini gözden geçirmeye gerek duymadan herkes ona inandı. Neredeyse herkes demek daha doğru olur. Almanya'da Grete Hermann adlı genç bir araştırmacı, onun muhakemesindeki kusuru saptayıp buna dikkat çektiği bir makaleyi 1935'te yayımladı ama makale, fizik-

ilerin okumadığı ve çok sonraları keşfedeceği bir felsefe dergisinde yer aldı. Ne var ki, İkinci Teselli'de anlatacağım gibi, von Neumann'ın hatası "imkânsız" gizli değişkenler kuramlarının üzerinde çalışmaktan herkesi birden alıkoyamadıysa da, bir fizikçinin von Neumann'ın tezini didik didik edip yanlışın nerede olduğunu göstermesi ve gizli değişkenler fikrini diriltmesi 1960'ların ortalarını buldu. Ama o fizikçinin gizli değişkenleri yeniden canlandırması Einstein'ı memnun etmemiş olabilirdi, çünkü böylelikle ispat olunan bir diğer Şey de bu tür kuramların tamamının, onun tiksindiği uzaktan hayalet etkiyi, daha akademik tabirle yerel olmamayı içermesi gerektiğiydi.

O fizikçi John Bell'di. Bell, Avrupa'nın parçacık fiziği laboratuvarı CERN'deki mesaisine ara vermiş, canı ne isterse üzerinde çalışmak için birkaç aylığına ABD'ye gitmişti. Düzenli işine verdiği bu aranın meyvesi olan iki makale, kuantum dünyası hakkında "herkesin bildiklerini" dalga-parçacık ikiliğinin keşfinden beri rastlanmadık arpıcılıkta bir değişikliğe uğrattı.

Bell ilk önce von Neumann'ın tezindeki yanlışı açıkladı. Ardından, yerel olmamanın etkilerinin sınanabileceği bir deneyi tasarlamamanın prensipte nasıl mümkün olduğunu ortaya koydu. Daha doğrusu, deneyle "yerel-gerçeklik" kabul sınanacaktı. Buradaki "yerel," uzaktan hayalet etki olmadığı anlamına gelir: Şeyler diğer Şeyleri yalnızca kendi yerelliklerinde etkiler ve bu yerelliğin sınırlarını, ışığın belirli bir sürede katedebildiği mesafe oluşturur. "Gerçeklik" ise birilerinin ona bakıyor veya ölçüyor olup olmadığına bakılmaksızın gerçek bir dünyanın var olduğu düşüncesidir. Kuantum dünyasının olasılığa dayanan doğasından dolayı, Bell'in önerdiği deneyin, tertibatın içinden geçen (elektron veya foton gibi) ok sayıda parçacık çiftine yönelik ölçümler içermesi gerekiyordu. Varsa-

yıma dayalı deney çok sayıda tekrarın ardından iki ölçüm kümesi üretilecek şekilde tasarlanmıştı. Bir sayı kümesi diğerinden büyük olduğu takdirde yerel gerçeklik kabulünün geçerli olduğu ispatlanacaktı. Bu orana Bell Eşitsizliği, fikirlerin bütününe de Bell Teoremi adı verildi. Diğer sayı kümesi daha büyük olduğu takdirdeyse Bell Eşitsizliği ihlal edilecek, bu da yerel gerçeklik kabulünün doğru olmadığı anlamına gelecekti. Kuantum mekaniği doğrusa, Bell Eşitsizliği ihlal edilmelidir. Ya uzaktan hayalet etki barındıran bir gerçek dünyayı ya da gözlemlenmediği sürece hiçbir şeyin gerçek olmadığını söylemek pahasına yerelliği seçebilirsiniz.

Çoğu fizikçi kabul etmez ama fizikçiler daha önce de benzer bir yoldan geçmişti. Robert Hooke ve Isaac Newton kütleçekim hakkındaki fikirlerini on yedinci yüzyılda geliştirdiklerinde, ayın Yer'in çevresinde onları birbirine çeken bir kuvvet sayesinde yörüngede kaldığını, gezegenlerin de Güneş'in çevresinde aynı tür kuvvet sayesinde yörüngede kaldığını anladılar. Bunun uzaktan etki olduğunu fark ettiler. İkisi de bunu "hayalet" olarak açıklamamasına rağmen, bu kuvvetin işleyişini bilmedikleri için Newton ünlü *Hypotheses non fingo* (Latince "Varsayımlar uydurmayacağım," yani "kütleçekimin işleyişi hakkındaki tahmininizin benimkinden aşağı kalır yanı yok") yorumunu yapmıştı. Biz uzaktan kuantum etkisinin karşısında nasıl şaşkına dönüyorsak, Newton da uzaktan kütleçekim etkisinin karşısında öyle şaşkına dönmüştü. Yirminci yüzyılda Einstein, genel görelilik kuramını geliştirerek, uzaktan hayalet etki fikrinin yerine, maddenin varlığından ötürü uzayın dokusunda meydana gelen çarpıklıklar fikrini koydu (gerçi kabul etmek gerekir ki bu fikri de hayaletimsi bulanlar vardır). Belki de günün birinde, uzaktan hayalet kuantum etkisinin yerine, gelece-

ğın bir Einstein'ı daha az hayaletimsi bir fikri koyacaktır. Zira söz konusu olgunun gerçek olduğu Şu anda deneylerle ispatlanmış durumda.

İşin aslı, Bell-tipi bir deney 1960'ların ortalarında mevcut olmayan bir teknolojiyi gerektiriyor ve Bell deneyin yapıldığını görmeyi ummuyordu. Gelgelelim 1980'lerin başlarında (elektronların yerine fotonlar kullanılarak) Bell Eşitsizliği'nin ihlal edildiğinin ispatlandığı deneyler yapıldı. O zamandan bu yana teknolojideki ilerlemeler sayesinde benzer pek çok deneyle bu doğrulandı. Yerel gerçeklik, dünyanın geçerli bir anlatımı değildir; John Bell 1990'da Cenevre'deki bir toplantıda Şu sözleri etmiştir: "Hiçbir yerellik kavramı bilmiyorum ki işleyişi kuantum mekaniğine uygun olsun. Dolayısıyla elimizde yerel olmamadan başka seçenek olmadığını düşünüyorum." Einstein, "gerçekliğin akla uygun hiçbir tanımının" buna olanak tanımayacağını hissetmiş olabildi, ancak varılması gereken sonuç şudur ki, gerçeklik onun anlayışına göre akla uygun değildir. Fakat bütün bu meselenin en etkileyici tarafı sık sık gözden kaçır. Bell Teoremi'nin çıkış noktası kuantum fiziğini anlamaya dönük bir çaba olmasına rağmen, ki o sözler bir kuantum fiziği toplantısında sarf edilmişti, bu sonuçlar yalnızca kuantum fiziği için geçerli değildir. Bütün dünya için, Evren için geçerlidir. Kuantum fiziğinin günün birinde dünyanın işleyişinin tanımı haline gelebileceğini düşünseniz de düşünmeseniz de bu bir şeyi değiştirmeyecek. Deneyler yerel gerçekliğin Evren için geçerli olmadığını gösteriyor. Teselliği gerçekliğe bağlı kalıp yerel olmamayı kabul etmekte ya da yerelliğe bağlı kalıp gerçekliği reddetmekte bulmanız ileride de göreceğimiz gibi kişisel bir tercih meselesi. Ama ikisini birden tercih edemezsiniz (gerçi beyninize acı çektirmek istiyorsanız hiçbirini ter-

cih etmeyebilirsiniz de). Yine de, sancıyan beyinlerimiz için teselli arayışına girmeden önce, kayda değer pratik uygulamaları olduğundan dolanıklık konusuyla ilgili son gelişmelerden söz etmekte fayda var.

Bu uygulamalardan biri kuantum ışınlanma adı verilen olgudur. Bu olgu an itibarıyla deneylerle ispatlanmış olan şu gerçekliğe dayanır: İki kuantum varlığı, mesela iki foton, dolanık olmaları durumunda, birbirinden ne kadar uzak olursa olsunlar, birine ne olursa diğeri de bundan etkilenir. Onlar aslında tek bir kuantum varlığının ayrı parçalarıdır. Her bir parçacığa olan şey olasılık ve gelişigüzellikle ilintili olduğundan, ışık hızından daha yüksek bir hızda bilgi iletmek için bundan yararlanılmaz. Fotonların biri gelişigüzel bir kuantum durumuna geçirilirse, diğeri de eşzamanlı olarak başka bir kuantum durumuna geçer. Oysa yalnızca ikinci fotonu gözlemeyen bir kişi, olasılık kurallarına tabi bir değişim görür yalnızca. Bu değişim aracılığıyla bilgi iletilebilmesi için, ilk fotondaki ayarlamayı yapan kişinin, deneyi yapan ikinci kişiye alışlagelmiş olanaklarla (ışıktan yavaş bir hızda) mesaj göndererek olup biteni söylemesi gerekir. Gelgelelim ilk fotonu belirli bir şekilde ayarlayarak, ikinci fotonu birincinin tıpatıp aynısı (zaman zaman “klonu” da denir) olarak değiştirmek mümkündür ve bu sırada ilk fotonun durumu bozulur. Esas itibarıyla, ilk foton ikinci fotonun konumuna ışınlanmıştır. Ne var ki ilk fotonun durumu bozulduğundan, bu çoğaltma değildir. Yeniden belirtmek gerekirse süreç, bilgiyi ışık hızının altında yapılan bir işlemle göndererek tamamlanmalıdır. Işınlamayla bilgi iletir ancak bunun için hem bir “kuantum kanalı” hem de bir “klasik kanal” gereklidir.

Böylesi sistemlerin geliştirilmesine yönelik araştırmalara muazzam boyutta emek harcanmıştır. Bunun

başlıca sebebi, hem sanayi hem de devletler için kıymeti olağanüstü olacak kırılmayan kodların üretilmesi konusunda söz konusu tekniğin ümit vadetmesidir. İşin püf noktası, biri kuantum kanalını gizlice dinlemeye kalktığı takdirde verinin bozulup kullanışsız hale gelmesi ve müdahalenin açığa çıkmasıdır. Gizlice dinleyen kişinin klasik kanalı okuyup okumaması önemli değildir; kuantum kriptologlarının dikkat çektiği gibi, veri ister gazetelerde basılabilir, hatta isterse sosyal medyada yayınlanabilir ama bu, gizlice dinleyenlerin hiçbir işine yaramaz. Kodlanmış bilginin kilidini açmak için iki kanala da ihtiyaç vardır. Dolanıklık bu günlerde sık sık manşetlere çıkan bir konu olan kuantum bilgisayarların geliştirilmesinde de rol oynamaktadır. Araştırmacılar kuantum hesaplama, dolanıklık ve ışınlanma kullanılarak bilginin güven içinde paylaşıldığı, tamamen güvenli bir kuantum internetin hayalini kurmakta.

Bu tür deneyler artık laboratuvarlardan çıkıp bütün dünyaya, hatta ötesine taşınmış durumda. Çinli bir ekip 2012'de bu yöntemle inghay Gölünün üzerinden 97 kilometre öteye kuantum bilgi ışınladı. Aynı yıl içerisinde Avrupalı bir ekip Kanarya Adaları'ndan La Palma ve Tenerife adalarının arasında kalan 143 kilometrelik mesafe üzerinden foton ışınladılar. Bell Eşitsizliği'nin ihlal edildiği de bu deneylerle doğrulanmış oldu ve fizikçiler şu anda buna elmanın ağaçtan aşağı yönde düşmesine baktıkları kadar kesin gözüyle bakıyorlar.

Kanarya Adaları'ndaki deney, düşük yoğunluklu hava atmosferik girişimi düşürdüğü için deniz seviyesinden 2400 metre kadar yükselen dağlardaki yer istasyonlarıyla yapıldı. Ama daha yükseğe çıkıldığında havanın yoğunluğu daha da düşer ve La Palma'nın yukarısında 143 kilometreden de az bir yüksekliğe çıkmak bizi uza-

yın kıyısına götürür. 2016'da Çin, (adını eski zamanların Çinli bir filozofundan alan) Micius uydusunu fırlattı. Uydudan, Tibet'in dağlarının yükseklerinde yer alan ve birbirinden 1200 kilometre uzaklıktaki alıcı istasyonlara dolanık foton çiftlerinden oluşan demetler gönderildi. Deney sırasında uydu saniyede yaklaşık 8 km hızla hareket etmesine karşın foton demetlerini hedefte tutmayı başardı. Fotonların davranışının Bell Teoremi'ne uygun tahminleri doğrulaması kimseyi şaşırtmasa da teknoloji adına bir zafer elde edildi. Güneş ışığı algılayıcıları bozduğu ve uydudan gönderilen fotonların sadece yaklaşık altı milyonda biri yerde "yakalanabildiği" için (neyse ki fotonlar ucuza geliyor) deney sadece geceleyn yapıyor, ama gündüz vakti dahi algılanabilecek güçlü demetler gönderen bir uydu takımı geliştirmeye yönelik planlar çoktandır mevcut. Böylelikle bir kuantum iletişim ağının ve fotonların yerden uyduya ışınlanmasının temeli atılacak. Siz bu satırları okurken muhtemelen daha çok ilerleme kaydedilmiş ve daha çok manşet atılmış olacaktır. Ne var ki, teknoloji uzmanları "çenelerini kapatıp hesap yapmaya" devam edebiliyor olsalar bile, tüm bunların ne anlama geldiği, dünyanın neden böyle olduğu konusunda fizikçiler hâlâ ortak bir fikirde buluşamıyorlar.

Fizikçilerin teselli bulmak üzere başvurduğu yolların bazılarına daha ayrıntılı olarak göz atmanın zamanı geldi. İki delikli deneyi tekrar düşünerek yeryüzüne geri dönelim. Deneyde her elektron kaç deliğin açık olduğunu ve nereye gittiğini "biliyor" gibi görünüyor. Dolanıklık (uzaktan hayalet etki) burada da konuya dahil olur mu? Zıt yönlerde uçmakta olan bir foton çifti aslında tek bir kuantum sisteminin parçasıysa, bütün çift yarıık deneyini ve elektronu (tüm elektronları?) tek bir kuantum sisteminin parçası sayabilir miyiz? Elektron hangi deliklerin açık ol-

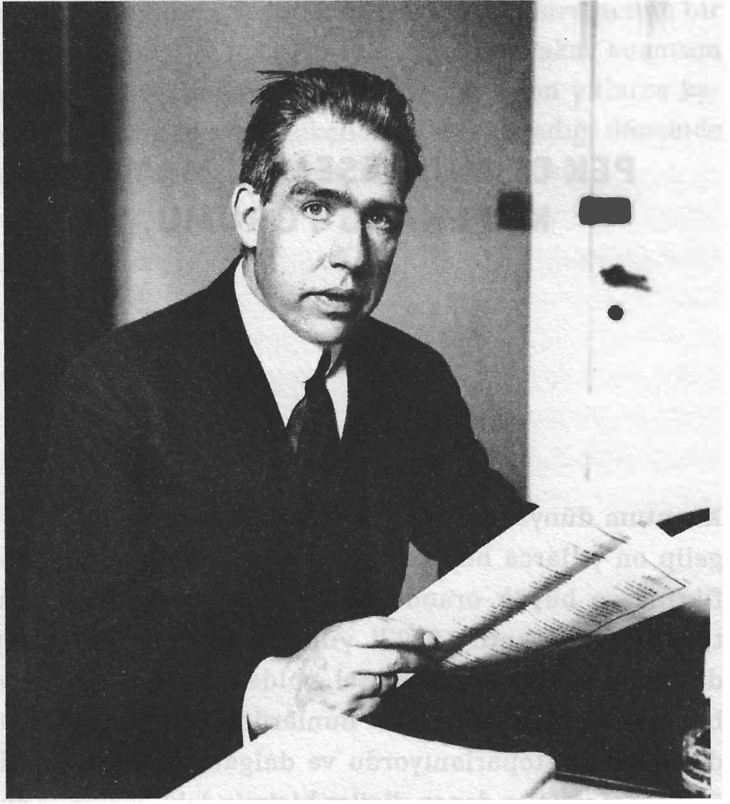
duğunu, deliklerin durumu da elektronun durumunun bir parçası olduğu için biliyordur belki de. Fakat kuantum mekaniğinin standart bakış ačíısı olarak on yıllarca kalacak bir yorumunda fizikçilerin teselli aradığı dönemde dolanıklık kavramı dahi henüz ortalarda yoktu.

I.

TESELLİ

PEK DE MUHTEŞEM OLMAYAN KOPENHAG YORUMU

Kuantum dünyasına yönelik standart bakış açısı haline gelip on yıllarca bu özelliğini koruyan yorum, dalgalar fikrine ve büyük oranda da “-mı” gibi ikazının unutulmasına dayanır. 1920’li yıllarda fizikçiler kuantum dünyasının iki matematiksel yoldan biriyle açıklanabileceğini zaten biliyordu. Bunlardan biri Schrödinger denkleminde toparlanıyordu ve dalgalarla ilgiliydi. Diğeriyse matrisler denen diziler biçimindeki boyutsuz sayılarla ilişkili olup Werner Heisenberg ve Paul Dirac’ın çalışmalarından geliştirilmişti. İkisi de aynı yanıtı verdiği için hangisiyle çalışılacağı tercih meselesiydi ve çoğu fizikçinin tercihi, bir ölçüde aşına oldukları dalga denklemleri oldu. Diğer taraftan, tüm kuantum hesaplamalarında hesaplanan şey bir sistemin iki durumu arasındaki ilişkidir. Bu sistem bir elektron, iki delikli deney veya (prensip) Evren’in tamamı, hatta elektronla Evren arasındaki herhangi bir şey olabilir. A durumundaki bir sistemi tanımlayan bir parametreler kümeniz varsa, sistemin belirli bir süre sonra B durumunda olması olasılığını hesaplayabilirsiniz.



Niels Bohr
Getty Images

Ama size arada ne olup bittiğini söyleyen hiçbir Şey yoktur.

İlk örnek model, bir atomun içindeki bir elektrondur. Kimi hesaplamalar için elektronlar, farklı enerji miktarlarına karşılık gelen yörüngelerdelermiş gibi (söz konusu ikaz) düşünülebilir. Bir atom ışık biçiminde enerji yaydığında, bir yörüngedeki bir elektron yok olup atomun çekirdeğine daha yakın olan başka bir yörüngede belirir. Bir atom ışık soğurduğundaysa, bir yörüngedeki bir atom yok olup atomun çekirdeğine daha uzak olan bir sonraki

yörüngede belirir. Ne var ki elektronun yaptığı, bir yörüngeden diğerine hareket etmek değildir. Önce buradadır, ardından orada. Buna kuantum sıçraması (ya da kuantum atlaması¹) adı verilir. Schrödinger kendisine ait dalga mekaniği yardımıyla, atlama sırasında olup bitenleri açıklamayı amaçladı ama başarılı olamadı ve dedi ki, "Bu lanet kuantum atlaması hakikaten varsa, kuantum kuramına el attığıma atacağıma pişman olmam gerek." Şans Schrödinger'in yüzüne gülmedi: Kuantum atlaması vardı ve hâlâ da var. Matris yaklaşımı daha dürüsttür çünkü bize A durumu ile B durumu arasında ne olup bittiğini söylediğini iddia etmez, ama Schrödinger denkleminde daha az teselli sunar.

Kuantum dünyasına standart bakış açısı olarak on yıllarca kalan yorum, onu şiddetle destekleyen etkili bir şahıs olan Niels Bohr'un yaşadığı şehrin adını alıp Kopenhag Yorumu olarak anıldı. (Aslında Werner Heisenberg'in fikirlerin bütününe verilen) bu ad Max Born'u hayli rahatsız etti. Born, Bohr'un ekibinin üyelerinden değildi ve çalışmalarını Kopenhag'da yürütmemişti ancak fikirleri muhtemelen yorumun değişmez bir parçasıydı. 1920'lerin sonunda kuantum fiziğine ilişkin tartışmalarda Bohr öylesine bir hakimiyete sahipti ki, bu yolla memleketinin tanınmasını sağlamakla kalmayıp, tastamam elverişli olan alternatif bir yorumu da yirmi yıl boyunca dikkatlerden uzak tutacak denli yermeyi bildi. Bunu 2. Teselli'de sunacağım.

Esasında Bohr, farklı fikir parçalarını bir araya getirerek, işe yarayan bir bütünü, ne ifade edeceği konusunda dert etmeksizin oluşturmaktan zevk alan bir pragmatist-

¹ Reklamcıların görüşünün aksine, kuantum atlaması gelişigüzel meydana gelen çok küçük bir değişikliklerdir.

ti. Dolayısıyla Kopenhag Yorumunun ne olduğunu anlatan dolambaçsız, kesin bir açıklama yoktur. Gelgelelim Bohr, İtalya'nın Como şehrinde, yorumun adını almasından çok önceleri, 1927'de yaptığı bir konuşmasında böylesi bir açıklamaya yaklaşmıştı. O konuşmanın yapıldığı konferans fizikte bir dönüm noktasıydı, çünkü (kimya, lazerler ve moleküler biyoloji gibi) atom ve moleküllerle ilgili pratik problemlerin çözümlerine kuantum mekaniğini uygulamak üzere ve bunların temelinde yatan anlama kafa yormalarına gerek kalmadan "çenelerini kapatıp hesap yapmaları" için ihtiyaç duyacakları araçlar fizikçilere o anda sunulmuştu.

Bohr'un pragmatik yaklaşımı, kendisine ait yorumuna da uzandı. Deneylerin sonuçları dışında hiçbir şeyi bilmediğimizi söylüyordu Bohr. Bu sonuçlar deneylerin neyi ölçmek üzere tasarlandığına, diğer bir deyişle kuantum dünyasına (doğaya) dair sormayı seçtiğimiz sorulara bağlıdır. Bu soruları da atom ve diğer kuantum varlıklarından çok daha büyük bir ölçekte meydana gelen, dünyadaki günlük deneyimlerimiz şekillendirir. Dolayısıyla elektronların parçacık olduğunu varsayabilir ve küçücük bir bilardo topu olarak düşündüğümüz bir elektronun momentumunu ölçmek suretiyle bu varsayımı açık bir şekilde test etmek üzere tasarlanmış bir deney oluşturabiliriz. Bu deneyi yaptığımızda, hayret vericidir ki, deneyle elektronun momentumu ölçüldüğünde elektronların parçacık olduğu yönündeki düşüncemiz doğrulanır. Ama bir arkadaşımızın farklı bir fikri vardır. Kendisi elektronların dalga olduğu kanısındadır ve bir elektronun dalga boyunu ölçmek üzere bir deney tasarlar. Yine hayret vericidir ki, onun deneyiyle dalga boyuna ilişkin bir ölçüm elde edildiğinde elektronların

dalga olduğu yönündeki düşüncesi doğrulanır. Bohr'sa "Ne olmuş yani?" der. Elektron, parçacık aradığınızda parçacıkmış gibi davranıyor veya dalga aradığınızda dalgaymış gibi davranıyor diye, hem parçacık hem dalga olmak şöyle dursun, bunların ikisinden biri olduğu anlamına gelmez. Elinizde olan ne gördüğünüzdür, ne gördüğünüz de neyi aramayı seçtiğinize bağlıdır. Kopenhag Yorumuna göre, elektron ve atom gibi kuantum varlıklarının, onları ölçen (başka bir deyişle onlara bakan) biri yokken ne oldukları veya ne yaptıkları sorusunu sormak anlamsızdır.

Şimdiye dek her şey gayet pragmatik ve ortada pek de telaşa yol açacak bir şey yok. Gelgelelim Bohr zaman kaybetmeden meseleyi karmaşıklaştırır. Olasılığın devreye girdiği yer burasıdır. Schrödinger kendisine ait dalga denklemini ortaya attığında, denkleminin bir elektronun (veya başka bir kuantum varlığının; verilecek en basit örnek elektronlardır) eksiksiz bir tarifi olduğunu düşünüyordu. Ona göre elektronlar birer dalgaydı. Bohr'sa Schrödinger'in fikrini alıp geliştirdikten sonra Born'un olasılığın rolüne ilişkin fikirleriyle birleştirdi ve ortaya çıkan şey tuhaf, sıkıntılı ama konu kuantum mekaniği olduğunda işe yarayan (hâlâ da işe yaramaktadır), üzerine kafa patlatmayı bıraktığınızdaysa başınızı ağrıtan bir karışımdı. Schrödinger'in bize sunduğu denklem bu yeni tabloda bir "olasılık dalgası" olarak düşünülmelidir ve bir elektronu herhangi bir konumda bulma şansı, "dalga fonksiyonunun karesiyle," yani esas itibarıyla dalgayı herhangi bir noktada tanımlayan denklemin kendisiyle çarpılmasıyla belirlenir. Bir ölçüm yaptığımızda, yani bir kuantum varlığını gözlemlediğimizde, dalga fonksiyonu olasılıkların belirlediği bir

noktaya “çöker.” Gelgelelim kimi konumlar diğerklerine kıyasla daha olası olmasına rağmen, prensipte elektron, dalga fonksiyonunun kapladığı herhangi bir yerde belirebilir. Bu davranışın tuhaflığının vurgulandığı çok basit bir örnek vardır.

Bir kutuya hapsedilmiş bir elektron düşünün. Olasılık dalgası kutuyu eşit olarak dolduracak şekilde yayılır, yani elektronun kutunun içindeki konumların her birinde bulunması şansı eşittir. Şimdi kutunun ortasından bir ayraç geçirin. Sağduyu bize elektronun artık kutunun bir yarısında hapsolması gerektiğini söyler. Oysa Kopenhag Yorumu (KY), olasılık dalgasının hâlâ kutunun iki yarısını da kapladığını ve elektronun ayracın her iki tarafında da eşit olasılıkla bulunabileceğini söyler. Şimdi de kutuyu boydan boya ayracın merkezinden ikiye bölün.

Kutuların bir yarısı laboratuvarınızda dursun, diğerkini bir roketle koyup Mars’a yollayın. Bohr’a göre, elektronun kutudaki laboratuvarda ya da Mars’takinde çıkması olasılığı hâlâ yüzde 50’dir. Şimdi laboratuvarınızdaki kutuyu açın. Ya bir elektron bulursunuz ya da bulmazsınız. Ama iki şekilde de dalga fonksiyonu çökmüştür. Kutunuz boşsa elektron Mars’tadır, elektron sizdeyse diğerkutu boştur. Elektronun “başından beri” kutunun bir yarısında veya diğerkinde olduğunu söylemekle aynı şey değildir bu; çökmenin yalnızca, laboratuvardaki kutunun içeriği incelendiğinde meydana geldiği KY’de ısrarla vurgulanır. EPR “paradoksunun” ve Schrödinger’in bir ölü bir de canlı kedi içeren ünlü bilmecesinin ardındaki fikrin özü budur. Ama o konuya geçmeden önce iki delikli deneyi Kopenhag Yorumunun nasıl “açıkladığına” bir göz atmak istiyorum.



Erwin Schrödinger

Getty Images

Öğrencilik dönemimde bana ve halen günümüzde birçok öğrenciye kuantum mekaniğini "anlamanın" "asıl" yolu olarak öğretilen KY'ye göre, deneyin bir tarafında bir elektron bir kaynaktan (bir elektron tabancasından) parçacık olarak yayınlanır. Elektron hemen, deneyin geneline yayılan ve diğer taraftaki algılayıcı ekrana doğru

yönelen bir “olasılık dalgasına” çözünür. Bu dalga açık kaç delik varsa uygun şekilde kendisiyle girişim yaparak ya da yapmadan hepsinden geçer ve bir olasılıklar örüntüsü olarak algılayıcı ekrana ulaşır; olasılıklar bazı yerlerde daha yüksek, bazı yerlerde daha düşük olacak şekilde ekrana yayılmıştır. O anda dalga “çöker” ve tekrar, ekrandaki yeri, gelişigüzel ama olasılıklara uygun olarak seçilen bir parçacığa dönüşür. Buna “dalga fonksiyonunun çökmesi” denir. Elektron bir dalga olarak ilerler ama vardığı yere bir parçacık olarak ulaşır.

Oysaki dalga, olasılıklardan fazlasını barındırır. Kuantum varlığının, yukarı spinli veya aşağı spinli olabilen bir elektron gibi, bulunabileceği bir durumlar seçimi varsa, dalga fonksiyonu her iki durumu da şu ya da bu şekilde içerir. Bu duruma “durumların üst üste gelmesi” denir. Varlığın, algılandığı veya başka bir varlıkla etkileştiği noktada girdiği durum da dalga fonksiyonunun çöktüğü anda belirlenir. 1955’te St. Andrews Üniversitesinde yaptığı bir konuşmada Werner Heisenberg şöyle diyordu: “‘Olanaklıdan’ ‘fiiliye’ ‘geçiş’, gözlem eylemi sırasında meydana gelir.”

Bu, elektron gibi şeylerin gerçekten de böyle davrandığını farz ederek kuantum davranışı hesaplamanın bir yöntemi olarak işlevlidir. Ama öte yandan da birçok bilmeceyi beraberinde getirir. Bunların en kafa karıştırıcısı, fizikçi John Wheeler’ın tasarladığı “gecikmiş seçim” adlı deneydir. Wheeler fotonların iki delikli deneyden tek tek ateşlenerek geçirildiğinde de algılayıcı ekranda girişim örüntüsü oluşturmamasından yola çıktı. Oysa KY’ye göre, fotonun hangi delikten geçtiğini izlemek amacıyla algılayıcı ekran ile iki deliğin arasına bir aygıt yerleştirildiğinde girişim örüntüsü ortadan kaybolacak ve her fotonun gerçekten de deliklerin sadece birinden geçtiği



Werner Heisenberg
Getty Images

ortaya koyulacaktır. Fotonları iki delikli perdeden geçmelerinden sonra izleyip izlememeye karar verme olanağını bize tanıdığı için “gecikmiş seçimi” devreye sokarız. İnsani tepkimeler bunu yapabilecek hızda değil elbette.

Ancak, tam olarak bunu yapabilmek amacıyla deneyler, fotonlar deliklerden geçtikten sonra monitörlerin açıldığı

veya kapatıldığı otomatik izleme aygıtlarıyla yürütöleğelmıştir. Deneyler göstermektedir ki, fotonlar izlendiğinde girişim örüntüsü sahiden de yok olmaktadır. Demek ki her foton (ya da olasılık dalgası) yalnızca bir delikten geçmektedir; fotonu izleme kararı, foton deliklerden geçtikten hemen sonra verilmiş olmasına rağmen bu böyledir.

Wheeler deneyin tam anlamıyla kozmik ölçekteki bir benzerinin zihinde canlandırılabilieceğine dikkat çekti. Kütleçekimsel mercekleme adı verilen bir olguda, uzakdaki bir cisimden (mesela bir yıldızsıdan) gelen ışık, araya giren bir cismin (mesela bir galaksinin) kütleçekimince odaklanır ve böylece kütleçekimsel merceğın etrafından dolaşan iki (veya daha fazla) yol izler. Sonuç olarak burada, yeryüzündeki algılayıcılarda cismin iki görüntüsü oluşur. Bu iki görüntüyü oluşturmak yerine, kütleçekimsel merceğın etrafındaki farklı yollardan gelen ışık birleştirilerek, merceğın etrafını iki taraftan da dolaşan dalgaların sebep olduğu bir girişim örüntüsünü meydana getirmek prensipte mümkün olurdu. İşte iki delikli deneyin kozmik bir versiyonu. Öte yandan, fotonları girişim örüntüsünü meydana getirme fırsatını yakalamadan önce izleyebilir ve merceğın hangi tarafından geldiklerine bakabilirdik. Laboratuvar ölçeğindeki deneylerin sonuçlarına göre o zaman girişim örüntüsü yok olurdu. Yıldızsı 10 milyar ışık yılı, kütleçekimsel mercek işlevi gören galaksiyse 5 milyar ışık yılı ötede olabilir. Ama deneylerden edindiğimiz tüm bilgilere göre, fotonların milyarlarca ışık yılı önce ve milyarlarca ışık yılı ötede ne yaptığını, burada neyi ve nasıl ölçmeyi seçmemiz etkiliyor. Bu olup bitenler de ne? Wheeler'ın kendisinin de dediğı gibi, "Kopenhag Yorumu böyle şeyler sormamamızı buyuruyor."² Pek de muhteşem değıl öyleyse.

² Philip Ball'un alıntısı.

Esası itibarıyla Kopenhag Yorumu, bir kuantum varlığının ölçülene kadar belirli bir özelliğinin (herhangi bir özelliğinin) olmadığını söyler. Bir ölçümün nelerden meydana geldiği hakkında bin bir türlü soruyu akla getirir bu. İnsan zekâsının işe dahil olması şart mı? Kimse bakmadığında da ay hâlâ yerinde mi? Evren sırf insanlar onu fark edebilecek zekâyâ sahip olduğu için mi var? Veya bir kuantum varlığının bir algılayıcıyla etkileşimi ölçüm sayılır mı? Veya iki zıt ucun arasında, kuantum dünyası ile eski dostumuz Newtoncu fiziğin “klasik” dünyasını ayıran sınırı nerede bulabiliriz? Schrödinger ünlü bilmecesini işte bu tür bir meraktan dolayı ortaya attı. Bilmecede bir kedi, onu öldürmek için kurulmuş ama durumların olasılıklarının yarı yarıya olduğu bir üst üste gelme halinde bulunan zalim bir aygıtla beraber bir odaya (Schrödinger “kutu” değil “hazne” anlamına gelen Almanca sözcüğü kullanmıştı) kilitlenmiştir. Onun bu örneğini güncel hale getirmek için, odadaki bir algılayıcının elektronun spinini ölçtüğünü hayal edin. Spin yukarıysa aygıt tetiklenir ve kedi ölür. Aşağıysa kedi emniyettedir. Elektron, ölçülmeden önce, durumların üst üste geldiği bir haldedir. Oysa odada algılayıcı tetiklendiğinde olup bitenleri görecektir kimse yoktur. Peki dalga fonksiyonu çöker mi çökmez mi? İçeri bakmak için biri odanın kapısını açana dek kedi de durumların üst üste geldiği bir halde, hem ölü hem canlı mıdır?

Bu fikrin benim geliştirdiğim bir türünde kedinin iki yavrusu yer alır (kedinin sağ salim kurtulduğunu varsayıyorum); bunlara Schrödinger’in yavru kedileri³ adını verdim. Schrödinger’in kedisinin tek yumurta ikizi olan

³ Parçacık fizikçileri bu adı alıp başka bir bağlamda kullanmıştır. Bu onların hakkıdır.

bu dişi yavruları, yaşamın tüm gereksinimlerinin, hat-ta oynayabilecekleri birkaç oyuncağın sađlandđđ özdeş uzay kapsüllerinde yaşamaktadır. Kapsüller bir boruyla birbirine bağlıdır ve borunun ortasında tek bir elekt-ron içeren bir kutu vardır. Elektron dalgası kutuyu eşit oranda doldurmaktadır. Bir ayala kutu düşey yönde ve eşit olarak ikiye bölünür ve kapsüller birbirinden ayrılır. Kapsüllerin her biri artık yarım elektron dalgası içeren bir kutuya bağlıdır. şimdi kapsüller ayrı ayrı, zıt yönlerde ve tamı tamına aynı hızla uzun birer yolculuğa çıkarılıp birbirinden iki ışık yılı kadar ayrılır. İki kapsülde de bir elektronun varlığını izlemeye yarayan bir algılayıcı var-dır. Belirli bir süre sonra (süre her defasında aynı olmak zorunda değildir) her bir kapsüldeki yarım kutu otomatik bir aygıta açılır. Kutunun içinde elektron varsa artık ye-tişmiş olan kedi ölür. Yoksa kedi yaşar. Ama olup biten-den haberi olacak zeki bir gözlemci yoktur. Öyleyse şimdi kedilerin ikisi de üst üste gelme halinde midir? Oradan geçen bir uzay gemisindeki zeki bir uzaylı, kapsüllerden birini yakalasın ve içinde l veya canlı bir kedi olup ol-madığına baksın. Dalga fonksiyonu o noktada mı çöker ve böylece uzaylının gördükleri iki ışık yılı ötedeki diğer kedinin kaderini belirler mi? Pek de muhteşem olmayan Kopenhag Yorumuna göre evet.

Peki ya alternatif nedir? Hepsini KY kadar gln bu-labilirsiniz ama çok sayıda alternatif var. Bunların ilki Kopenhag Yorumuyla aynı zamanda ortaya çıkmaya baş-ladı, az kalsın Bohr yüzünden l doğacaktı, buna rağ-men pes etmedi.

2.

TESELLİ

PEK DE İMKÂNSIZ OLMAYAN PİLOT DALGA YORUMU

Louis De Broglie dalga-parçacık ikiliği bilmecesini çözmeye çalışırken, elektron gibi bir varlığın, ona nasıl baktığınıza bağlı olmak üzere ya dalga ya da parçacık olabileceğini söylemedi, keza aynı anda hem dalga hem de parçacık olduğunu da. Bir dalga ve bir parçacık olarak birlikte çalışan ve deneylerimizde gördüğümüz sonuçları ortaya çıkaran iki ayrı varlık olabileceğini ileri sürdü.

De Broglie, kuantum mekaniğindeki dalgalar fikrinin öncülerindendi. Eğer ki Einstein'ın vurguladığı gibi önceden dalga olarak düşünülen bir şey (ışık) parçacık da (foton) sayılabiliyorsa, o zaman önceden parçacık sayılan şeylerin de (elektronların) dalga olarak ele alınması gerektiğini ileri süren oydu. Çok geçmeden bu tezi deney yoluyla doğrulandı ve Schrödinger'in dalga denklemini geliştirmesinin yolu açılmış oldu. De Broglie'nin bu dalga-parçacık ikiliğinin anlamı üzerine derin derin düşünmesi doğaldı ve bilmeceye getirdiği çözümünü, Bohr'un Kopenhag Yorumu olarak tanınan yorumunun temellerini attığı Como'daki aynı toplantıda sundu.

Pek çok açıdan, De Broglie'nin "pilot dalga" yorumu dalga-parçacık ikiliğinin aıklanabileceğı en doğal ve en açık yoldur. De Broglie dalğanın da parçacığın da gerçek olduğunu ve (pilot dalga olarak anılmaya başlayan) dalğanın, denizde dalgaların üzerinde ilerleyen bir sörfü misali, parçacığı hedefine götürdüğünü ileri sürdü. İki delikli deneyde pilot dalga iki deliğın içinden geçerek yayılır ve kendisiyle girişim yaparak bir girişim yapan dalgalar örüntüsünü meydana getirir. Deneyde ateşlenen parçacıklar yola çıktıklarında hız veya yn bakımından ufak farklılıklar içerdikleri için biraz farklı yönlerde srf yapar ve dalgaları takip ederek algılayıcı ekranda bir girişim örüntüsü oluştururlar. Biz parçacıkların özelliklerini ölçeriz ama dalğanın özelliklerini asla ölçemez, parçacıkların algılanana dek bizden gizlenen davranışından yola çıkararak, dalğanın var olduğu sonucuna varırız sadece. Bu yaklaşıma "gizli değişkenler" kuramı adı verilmiştir.

Güzelce karıştırılmış bir iskambil destesi faydalı bir analogidir. Kuantum fiziğinin kurallarına tabi olacak küçüklükteki bir iskambil destesini hayal edin. Bu destenin yerleştirildiğı ve mikroskopla görülemeyecek ölçekteki bir cihaz da iskambil kartlarını teker teker çevirip değerlerini göstersin. Gizli değişkenler kuramına göre, en üstteki kartı evirdiğınızde gördüğünüz değer, destede mevcut olan 52 olanağın içinden gelişigüzel belirlenir. Kırmızı bir kart çıkma şansı %50'dir, sinek beş gelme şansı 1/52'dir vesaire. Kartın değeri siz bakana kadar gizliydi.

Halbuki baştan beri, hatta siz bakmıyorken bile o değere sahipti (böyle düşünüldüğünde aslında bir değişken değildir!). Bu ilk kart görüldükten sonra, bu kartın gerçekten de sinek beş olduğunu varsayarsak artık sinek beş bulma şansı sıfır, kırmızı bir kart bulma şansı 26/51'dir

vesaire. Şimdi bunu, siz bakana kadar kartın değeri olmadığını söyleyen Kopenhag Yorumuyla karşılaştırın. Onu mevcut olanakların içinden seçmeye zorlayan şey bakma eylemidir. Ama kartları çevirmeye devam ettikçe her iki durumda da olasılıkların belirlediği gelişigüzel örüntünün aynısını görürsünüz; sinek beşi iki defa görmezsiniz mesela. Deney, yorumlar arasında ayırım yapmaz. Ama o örüntüyü neyin meydana getirdiğinin açıklanışı açısından ortada muazzam bir fark vardır.

David Lindley golf sahasında alıştırma yapan bir golfçü ile analogi kurar. Golfçü aynı deliği hedef alarak golf toplarına ardı ardına vurur ama golfçünün vuruş tekniğindeki ufak ve kaçınılmaz değişikliklerden dolayı her topun yola çıktığındaki hızı ve yönü biraz farklıdır. Ayrıca çimin yüzeyi mükemmel derecede düzgün değildir. Dolayısıyla her topun izlediği yön ve gittiği uzaklık diğerlerinden biraz farklıdır. Golfçü yüz alıştırma vuruşu yaptıktan sonra toplar ilerledikleri yüzeyin bozukluklarının belirlediği bir örüntü içerisinde çimin üzerinde dağılmış vaziyettedir. Ama yüzeyin şeklinin yanı sıra topun başlangıçtaki hızını ve yönünü kesin olarak bilseydiniz her topun son konumu prensipte belirlenebilirdi. Bu bakımdan pilot dalga yaklaşımı belirlenimcidir ve dalga fonksiyonunun çökmesiyle ilintili şans unsurunu, hatta bizzat dalga fonksiyonunun çöküşünü ortadan kaldırır. Her parçacık daima belirli özelliklere sahiptir. Yalnızca, güzelce karıştırılmış iskambil destesindeki gibi, biz bakana kadar o özelliklerin ne olduğunu bilmiyoruzdur.



Louis de Broglie
Getty Images

De Broglie, Como toplantısında pilot dalga tezini benim burada yaptığım gibi belli belirsiz değil, en ince ayrıntısına kadar anlattı. John Bell 1987'de yazdığı *Speakable and Unsayable in Quantum Mechanics* kitabında geçmişe dönüp bakarak şöyle diyordu: "Dalga-parçacık ikilemine öylesine açık ve sıradan bir yoldan çözüm getiren bu fikir o kadar doğal ve basit duruyor ki, genel olarak görmezden gelinmiş olması benim için büyük bir gizemdir."

O kadar da büyük bir gizem değildir bu aslında. Öncelikle, daha önce de bahsettiğim gibi, Wolfgang Pauli ile ona yardım ve yataklık eden Bohr birlik olup, tezlerinin geçerliliğinden ziyade karakterlerinden ve itibarlarından aldıkları güçle söz konusu fikri yerden yere vurdu ve nispeten çekingen biri olan De Broglie'yi sindirdiler. Oysa itibar her şey değildir. De Broglie'nin fikrinin diğer gizli değişkenler kuramlarıyla birlikte bir kenara atılmasının ikinci sebebi, von Neumann'ın bu tür kuramların imkânsız olduğunu söyleyen hatalı "ispatıdır." De Broglie'nin destekleme çabalarını hepten bıraktığı fikri fizikçilerin hafızalarından öyle bir silindi ki, Amerikalı David Bohm 1950'lerin başlarında benzer bir fikri ortaya attığında bu önceki fikir hakkında hiçbir şey bilmiyordu. Hakkı verilmediği için rahatsız olan De Broglie ile Bohm arasında ilk başlarda bu nedenle bir gerginlik ortaya çıktıysa da mesele sonradan tatlıya bağlandı ve o zamandan bu yana pilot dalga fikrine çoğunlukla De Broglie-Bohm yorumu olarak değinilir oldu.

Bohm'un kendi pilot dalga versiyonuna ulaşana dek izlediği yol bilhassa mevcut bağlamda ilgi çekicidir. Bohm genç bir araştırmacıyken kuantum fiziği üzerine 1951'in başlarında yayımlanan bir ders kitabı yazmış ve bu eserinde Kopenhag Yorumunu en ince ayrıntısına kadar öyle güzel bir şekilde anlatmıştı ki, entelektüel açıdan kendisinden aşağı gördüğü kimseleri (yani herkesi) acımasızca eleştirmesiyle bilinen Pauli'nin bile onayını almıştı. Einstein da Bohm'un KY'yi mümkün mertebe açıklayıp iyi bir iş çıkardığı düşüncesindeydi. Ama Bohm'la temasa geçip KY'nin hatalı olduğu yönündeki düşüncesini ifade etmekten de geri durmadı. Bohm kuantum dünyasında olup bitenleri açıklamanın başka bir yolu var mı diye bakmaya karar verdi ve bir yol olduğunu aradan çok geçmeden

keşfetti. Onun pilot dalga modeli Kopenhag Yorumuyla matematik bakımından denkti ve kuantum sorularına bu yorumun sağladığıyla aynı yanıtları sağlıyordu; modeli esas itibarıyla De Broglie'nin modeliyle de aynı olmakla beraber kuantum dünyasıyla klasik dünya arasındaki etkileşimi tarif etmek bakımından biraz daha ilerideydi. Gelgelelim onun bu modeli Von Neumann'ın imkânsız olduğunu söylediği gizli değişkenleri temel alıyordu.

Tam da bu nedenle (ayrıca, en azından ABD'de, McCarthy "cadı avı" döneminde komünist sempatizanı olarak kara çalındığından ötürü) çoğu fizikçi, Von Neumann imkânsız dediyse modelde bir hata vardır diye düşünüp Bohm'u ciddiye almadı. Ama ortada önemli bir istisna vardı.

1952'de John Bell, Worcestershire'daki Malvern'de yer alan İngiltere Atom Enerjisi Araştırma Kurumunda çalışmaktaydı ve araştırma yürütmesi için bir yıl izin verilen genç araştırmacılardan biri olarak seçilmişti. Hizmet vermek ve çalışmalarını yürütmek üzere Birmingham Üniversitesine gitti, orada kuantum kuramını incelemeye aldı ve Bohm'un pilot dalga kavramını öğrendi. Çoğu fizikçinininkiyle ters düşen bir görüş edinmesi çok zaman almadı. Şayet Bohm'un fikri işliyor ve Von Neumann onun bu fikrin imkânsız olduğunu söylüyorduyorsa, o zaman yanılan kişi Von Neumann olmalıydı. Ne yazık ki o sırada Von Neumann'ın kitabı yalnızca Almancada yayımlanmış ve Bell kitabı okumamıştı. Bell'in parçacık hızlandırıcı tasarlamakla meşgul olduğu günlük işine dönmesi, sonra da 1960'ta CERN'e geçmesi gerekti. 1963'e gelindiğinde Von Neumann'ın kitabı İngilizcede yayımlanmıştı. Bell hatayı buldu ve ABD'de geçirdiği, yedi yılda bir verilen ücretli izin yılında bulgularını kaleme aldı. Ayrıca Von Neumann'ın yanlışlığının bir ispatı olarak, gizli değişkenler kuramının kendisine ait bir versiyonunu üretti. An-



David Bohm
Getty Images

cak, daha önce de değindiğim gibi, pilot dalga kavramı da dahil olmak üzere tüm gizli değişkenler kuramlarının yerel olmadığını gösterdi. ABD’de bulunduğu sırada yazdığı makalelerin birinde şöyle diyordu: EPR bilmecesi gibi şeylerle ilgili (hatta, De Broglie-Bohm kuramına göre elektronun her zaman bir yarım kutuda olduğu ve üstü

üŕte gelmenin olmadığı, uzaydaki yavru kediler örneğim-
le ilgili) “esas zorluğu yaratan, yerelliğin gerekliliğidir;
daha doğrusu, bir sisteme dönük ölçümlerin sonucunun,
o sistemin geđmiŕte etkileŕtiđi uzak bir sistemdeki te-
sirlerden etkilenmeyiŕidir.” Pilot dalga yorumunda, bir
parçacığın herhangi bir andaki hızı veya ilerlediği yönün
deđiŕim biçimi gibi özelliklerin, o parçacığın etkileŕmiŕ
olduğu diğer tüm parçacıkların o aynı andaki özellikleri-
ne bağlı olduğu açıkça ŕart koŕulur.

Aradaki bağlantıyı kuran baŕka birine rastlamamıŕ
olsam da bu bana Mach İlkesi adı verilen bir bilmeceyi
anımsatıyor. Einstein’ın etkilendiği kiŕilerden biri olan
fizikçi Ernst Mach’ın dikkat çektiği bu bilmece hiç değil-
se Newton’ın zamanından beri bilim insanlarının baŕını
ađrıtmıŕtı. Bilmece, eylemsizlikle ilgilidir. Bir ŕeyi iterse-
niz harekete direnç gösterir. Bahsettiğim ŕey sürtünme
değil, uzayda serbest duran bir cismin bulunduğu ideal-
leŕtirilmiŕ bir durumdur. Cisim itilip hızı, yönü ya da her
ikisi de deđiŕene dek (ilk olarak Robert Hooke’un dikkat
çektiği gibi) durağanlığını korur veya düz bir çizgi üze-
rinde ilerler. İyi de cisim yönünü veya hızını deđiŕtirdi-
đini nasıl bilir? Ölçülen hız neye göreğir? Eylemsizliğin,
bütün Evren’e göre hareket deđiŕimine karŕı bir direnci
temsil ettiğini fark etmek için çok da fazla gözlem yap-
maya gerek yok.

Bilmeceyi tüm ŕatafatıyla görebilmek için uzayda ol-
duğunuzu hayal etmek zorunda değilsiniz. Isaac New-
ton’ın ta kendisi *Principia* baŕlıklı baŕyapıtında eviniz-
de yürütebileceğiniz gerçek bir deneyi tarif ediyordu.
Sapından uzun bir iple asılmıŕ su dolusu bir kovayı et-
rafında çevirip bırakıyordu. Kova dönmeye baŕlıyor ama
ilk baŕta kovadaki suyun düzeyi aynı kalıyordu. Suyun
düzeyi, kovanın suya göre hareket etmesini umursamı-

yordu. Sonra su, dönüşü üzerine aldığı anda merkezinde çöküyor ve eğimli bir yüzey meydana getiriyordu. Newton kenarından tuttuğu zaman kova dönmeyi bırakıyordu ama su dönmeye devam ediyor, yüzey de eğimli şeklini koruyarak, yavaşladıkça gitgide düzleşiyordu. Suyun yüzeyinin şekli, suyun gizemli bir gözlem çerçevesine göre yaptığı harekete bağlıydı ve kovaya göre yaptığı hareketle hiçbir alakası yoktu; günümüzde bu gözlem çerçevesi Evren'deki her şeyin ortalama dağılımı olarak tanımlanır. Aslında, bütün Evren'in yerel şeylerin üzerindeki etkisini görmek için kovaya ihtiyacınız yok; bir fincan çay veya kahveyi karıştırdığınızda sıvının yüzeyini izlemeniz yeterli!

Yani Evren'deki her şeyin ortalama dağılımı, böylesi değişimlerin karşılaştırılarak ölçüldüğü bir gözlem çerçevesi sağlar. Öyle veya böyle, "yerel" cisim "oradaki" her şey tarafından etkilenir. Mach İlkesi, bir parçacığın eylemsizliğinin o parçacığın Evren'deki diğer tüm cisimlerle olan bir tür etkileşiminden kaynaklandığını söyler bize. O etkileşimin tam olarak ne olduğu uzun zamandır sırrını korumuştur. Pilot dalga yorumu ve yerel-olmama bu bilmecenin çözümü olabilir.

Bu bizi, bir diğer yorumda da (3. Teselli'de) rastlanan ilginç bir sonuca götürür. De Broglie-Bohm pilot dalga yorumu Evren'in tamamı için geçerlidir. Tek bir parçacığın tam şimdiki davranışı, Evren'deki diğer her bir parçacığın şu andaki konumuna bağlıdır. Buradan çıkarılabilecek anlamları Çoklu Dünyalar Yorumu başlıklı üçüncü Teselli'nin bağlamında incelemek uygun olacaktır. Gelgelelim ilerlemeden önce, kendisinden Bohm'un kuramını benimsemişi beklenebilecek birinin bu kuram hakkında yaptığı şaşırtıcı bir yorumdan bahsetmekte fayda var. Einstein, Bohm'u Kopenhag Yorumuna bir alternatif bulması için

kışkırtan kişi olmasına rağmen 12 Mayıs 1952'de Max Born'a şöyle yazar:

Bohm'un, kuantum kuramını belirlenimci biçimde yorumlayabildiğine (25 yıl önce De Broglie'nin de inandığı gibi) inandığını fark ettiniz mi? Yöntemi bana fazlasıyla ucuz geldi.

Einstein'ın neyi kastettiğini hiç kimse tam olarak anlayamasa da onun bu sözleri kuantum mekaniğinin tüm yorumlarının çetrefilliğini vurgulamaktadır.

3.

TESELLİ

FAZLA YÜK GETİREN ÇOKLU DÜNYALAR YORUMU

Çoklu Dünyalar Yorumunu (ÇDY) işittiyseniz, yorumu 1950'lerin ortalarında Amerikalı Hugh Everett'in icat ettiğini düşünüyor olabilirsiniz. Bir bakıma doğrudur bu. Sahiden de bu fikri kendi başına ortaya atan oydu. Halbuki aynı fikrin aslında beş yıl önce Erwin Schrödinger'in de aklına geldiğinden haberdar değildi. Everett'in versiyonu daha matematiksel, Schrödinger'inki daha felsefidir, ama asıl önemli olan şudur ki, her ikisindeki motivasyon kaynağı da "dalga fonksiyonunun çöküşü" fikrinden kurtulma arzusudur ve her ikisi de başarılı olmuştur.

Schrödinger (kendisinin ünlü dalga denklemi de dahil olmak üzere) denklemlerde çöküşle ilgili hiçbir şey bulunmadığını her fırsatta dile getirmiştir. Neden bir durumlar karışımını, yani durumların üst üste gelmesini değil de deneyin sadece tek bir sonucunu (ölü bir kedi ya da canlı bir kedi) gördüğümüzü "açıklamak" üzere Bohr'un kurama eklediği bir şeydi bu. Oysa tek bir sonucu (dalga fonksiyonunun bir çözümünü) tek başına saptıyor olmamız, alternatif çözümlerin var olmadığı anlamına gelmez. 1952'de yayımladığı bir makalesinde Schrödinger, sırf biz

bakıyoruz diye bir kuantum üst üste gelmesinden çökmesini beklememizin gülünçlüğüne dikkat çekti. Dalga fonksiyonunun “kimi zaman dalga denkleminin hükmüne, bazen de dalga denklemi değil gözlemcinin doğrudan müdahalesinin hükmüne tabi olacak şekilde iki apayrı yoldan hükme tabi olmasının açıkça abes” olduğunu yazdı.

Her ne kadar Schrödinger bu fikrini ünlü kedisine uygulamadıysa da fikir bu bilmeceye pekâlâ çözüm getirir. Schrödinger’in terminolojisini güncellemek gerekirse, iki paralel evren veya dünya vardır ve bunların birinde kedi yaşar, diğerindeyse ölür. Evrenlerin birindeki kutu açıldığında ölü bir kedi ortaya çıkar. Diğer evrendeyse canlı bir kedi vardır. Ancak, zalim aygıtın kedinin (kedilerin) yazgısını belirlediği ana dek özdeş olan iki dünya en başından beri vardı. Dalga fonksiyonu çökmesi olmamıştır. Schrödinger o sırada yaşadığı Dublin’de 1952’de yaptığı bir konuşmasında meslektaşlarının göstereceği tepkiyi öngörmüştü. Kendi adını taşıyan denklemi farklı ihtimalleri tarif ediyor gibi görüldüğünde, bunların “birbirlerinin alternatifi olmayıp gerçekte hepsinin eşzamanlı olarak meydana geldiğini” vurguladı ve ardından şöyle dedi:

[Kuantum kuramcısının] dile getirdiği hemen her sonuç bunun, şunun veya onun meydana gelmesiyle alakalıdır ve çok sayıda alternatif mevcuttur. Bunların birbirlerinin alternatifi olmayıp gerçekte hepsinin eşzamanlı olarak meydana gelmesi ona deli işi gelir, imkânsız gelir. Onun düşüncesine göre, doğa yasaları, diyelim ki on beş dakikalığına bu biçimi aldığı takdirde, çevremizdekiler hızla bir bataklığa veyahut niteliksiz bir jele ya da plazmaya dönüşür, tüm konturlar bulanıklaşır, biz de muhtemelen denizanalarına dönüşürüz. Buna inanması gariptir. Zira benim anladığıma göre, gözlenmeyen doğanın böyle, yani dalga denklemine uygun biçimde davrandığını teslim et-

mektedir. Sözünü ettiğim alternatifler yalnızca gözlem yaptığımızda devreye girer, ki bunun bilimsel bir gözlem olması elbette şart değildir. Yine de, kuantum kuramcısına göre, doğanın bir çırpıda jelleşmesinin önüne, sırf bizim onu algılayışımız veya onu gözlemleyişimiz sayesinde geçiliyormuş gibi görünür ... Garip bir yargıdır bu.

Aslına bakılırsa Schrödinger'in fikrine hiç kimse tepki vermedi. Görmezden gelinip unutuldu, imkânsız addedildi. Bunun üzerine Everett ÇDY'nin kendisine ait bir versiyonunu tamamen bağımsız bir şekilde geliştirdi ama bu versiyon da hepten hiçe sayıldı. Gelgelelim kuantum seçimleriyle karşı karşıya bırakıldığında kendisinin iki farklı versiyonuna "ayrışan" Evren fikrini ortaya atıp kafaları karıştıran da Everett'ın ta kendisiydi.

Everett bu fikri 1955'te Princeton'da doktora öğrencisiyken ortaya attı. Fikrinin orijinal versiyonunu, o dönemde yayımlanmayan tezinin bir taslağında geliştirmiş ve durumu iki yavru hücreye bölünen bir amiple kıyaslamıştı. Amiplerin beyni vardıysa, her yavru ayrışma anına dek uzanan özdeş bir geçmişi hatırlayacak, sonrasında da kişisel bir hafızaya sahip olacaktı. Bildiğimiz kedi analogisinde zalim aygıt tetiklenmeden önce bir evrenimiz ve bir kedimiz, ardından her birinde bir kedi olan iki evrenimiz vardır ve bu böyle devam eder. Everett'ın doktora danışmanı John Wheeler, hem tezi için hem de 1957'de *Reviews of Modern Physics*'te yayımlanan bir makale için, fikrine dair matematiksel bir tanım geliştirmeye teşvik etti onu, ancak süreç içerisinde amip analogisi çıkarıldı ve belli bir süre basılı halde piyasada bulunmadı. Bununla birlikte Everett, hiçbir gözlemci diğer dünyaların varlığından asla haberdar olamayacağından, dünyaları görmüyoruz diye orada olamayacaklarını iddia etmenin hareketi hissedemiyoruz diye Yer'in Güneş'in et-

rafında dönmediğini iddia etmek kadar geçersiz olduğuna dikkat çekmeyi bilmişti.

Everett, ÇDY kavramını tanıtmaya hiç yeltenmedi. Daha doktorasını bitirmeden Pentagon'dan aldığı iş teklifini kabul edip, gizli Soğuk Savaş sorunlarına yönelik (oyun teorisi olarak masumca adlandırılan) matematiksel tekniklerin uygulandığı Silah Sistemleri Değerlendirme Grubunda göreve başlamış (çalışmalarının bir kısmı hâlâ gizli tutulmaktadır) ve akademi ortamında gözden kaybolmuştu. Kavram, North Carolina Üniversitesinde çalışan Bryce DeWitt'in hevesle tanıtmasıyla ancak 1960'larda bilinirlik kazanabildi. Şöyle yazıyordu DeWitt: "Her yıldızda, her galakside, evrenin her ücra köşesinde cereyan eden her kuantum geçişi, Yer'deki yerel dünyamızı kendisinin sayısız kopyasına ayırıştır-maktadır." Bu, Wheeler'a fazla gelmiş, onun ÇDY fikrini ilk baştaki benimseyişinden caymasına ve 1970'lerde şu sözleri sarf etmesine yol açmıştı: "Ne yazık ki çok fazla miktarda metafiziksel yük barındığı için sonunda o bakış açısına verdiğim destekten gönülsüzce de olsa vazgeçmek zorunda kaldım."¹ İşin garip tarafıysa, kozmoloji ve kuantum hesaplama alanlarındaki uygulamalar yoluyla söz konusu kavramın tam o sırada hayata döndürölüp dönüştürülmekte olmasıydı.

Yorumun gücü, onu tam anlamıyla benimsemeye gönülsüz olan insanların dahi saygısını kazanmaya başladı. John Bell "insanlar elbette dünyayla birlikte çoğalırlar ve belli bir koldaki kimseler yalnızca o kolda olup bitenleri deneyimleyecektir" dedi ve yorumun bir şeyleri barındırıyor olabileceğini isteksizce kabul etti:

¹ Alıntının yapıldığı yapıt: *Some Strangeness in the Proportion*, ed. H. Woolf (Addison-Wesley, 1981).

“Çoklu dünyalar yorumu” bana aşırı ve en önemlisi aşırı derecede belirsiz bir varsayım gibi geliyor. Bir saçmalık deyip reddetsem yeridir âdeta. Ama yine de ... bize “Einstein Podolsky Rosen bilmecesiyle” bağlantılı ayırt edici bir şeyler söyleyebilir ve kanımca, öyle mi değil mi diye bakmak için hassas bir versiyonunun formülleştirilmesi faydalı olabilir. Bunun yanı sıra, olanaklı tüm dünyaların varlığı bizi kendi dünyamızın varlığı hakkında daha rahat hissettirebilir ... kaldı ki dünyamız bazı açılardan bir hayli olasılık dışı gibi görünmektedir.²

ÇDY’nin hassas versiyonu Oxford’daki David Deutsch’tan geldi ve etkisi itibarıyla kavramın Schrödinger’e ait versiyonunu sağlam bir temele oturttu; gerçi Deutsch yorumunu formülleştirdiği sırada Schrödinger’in versiyonundan haberdar değildi. 1970’li yıllarda DeWitt’le çalışan Deutsch 1977’de DeWitt’in düzenlediği bir konferansta Everett’la tanıştı. Everett fikirlerini ilk defa büyük bir kitleye sunuyordu. ÇDY’nin kuantum dünyasını anmanın doğru yolu olduğuna ikna olan Deutsch, kuantum bilgisayar alanında bir öncü haline geldi. Öncülüğünü bu tür bilgisayarlara ilgi duyduğundan değil, işleyen bir kuantum bilgisayarın ÇDY’nin gerçekliğini ispatlayacağına yönelik inancı sayesinde elde etmişti.

Bu noktada Schrödinger’in fikrinin bir versiyonuna geri döneceğiz. Kedi bilmecesinin Everett’a ait versiyonunda, aygıtın tetiklendiği ana dek tek bir kedi vardır. Ardından Evren’in tamamı ikiye bölünür. Benzer şekilde, DeWitt’in dikkat çektiği gibi, uzak bir galakside iki (veya daha çok) kuantum yolu seçeneğiyle karşı karşıya kalan bir elektron biz de dahil olmak üzere bütün Evren’in ikiye bölünmesine

² *Speakable and Unspeakable in Quantum Mechanics* (Cambridge University Press, 1987).

yol açar. Deutsch-Schrödinger versiyonunda, kuantum dalga fonksiyonunun olanaklı tüm çözümlerine karşılık gelen sonsuz bir evren eşitliliğı (bir Çoklu Evren) vardır. Kedi deneyinde de özdeş deneycilerin özdeş zalim aygıtları inşa ettiğı çok sayıda özdeş evren vardır. Bu evrenler aygıtın tetiklendiğı ana dek özdeştir. Ardından bazı evrenlerde kedi ölür, bazılarında yaşar, bunları izleyen olaylar da uygunluk içerisinde birbirlerinden farklıdır.

Fakat paralel dünyalar birbirleriyle asla iletişim kuramaz. Yoksa kurabilirler mi?

Önceden özdeş olan iki veya daha çok evren kuantum süreçlerce ayırık hale gelmeye zorlandığında, iki delikli deneydeki gibi, evrenlerin arasında, evrenler evrildikçe sönem geçici bir girişim olduğunu öne sürer Deutsch. Bu deneylerin gözlemlenen sonuçlarına neden olan, bu etkileşimdir. Deutsch'un hayali, "beyninin" içerisinde meydana gelen ve girişim barındıran bir kuantum olguyu izleyecek zeki bir kuantum makinenin (kuantum bilgisayarın) üretildiğini görmektir. Deutsch anlaşılması güç denebilecek bir tezi kullanarak, zeki bir kuantum bilgisayarın, paralel gerçekliklerde geçici olarak var olma deneyimini hatırlayacağını iddia eder. Pratik bir deney olmaktan uzaktır bu. Fakat Deutsch'un Çoklu Evren'in varlığına dair çok daha basit bir "ispatı" da vardır.



David Deutsch

Getty Images

Kuantum bilgisayarı geleneksel bilgisayardan nitelik bakımından farklı kılan, barındırdığı “anahtarların” durumların üst üste geldiği bir halde var olmasıdır. Geleneksel bir bilgisayar ya açık ya da kapalı olabilen ve 1 veya 0 rakamlarına karşılık gelen bir anahtar kümesinden (elektrik devrelerinde bulunan birimlerden) oluşur. Böylece ikili koddaki sayı dizilerini işleyerek hesaplama

yapmak mümkün olur. Her anahtar bir bit olarak bilinir ve bit sayısı ne kadar çoksa bilgisayar o kadar güçlüdür. Sekiz bit 1 bayt eder, günümüzde bilgisayar belleği de milyarlarca bayt (gigabayt, yani Gb) cinsinden ölçülür. Doğrusu, konu ikili sistem olduğundan bir gigabayt 2^{30} bayttır ancak genellikle okunduğu Şekliyle kabul edilir. Kuantum bilgisayarındaki her anahtarsa durumların üst üste geldiği bir halde bulunabilen bir varlıktır. Genellikle atomdurlar ama siz bunları ya aşağı spinli ya da yukarı spinli elektronlar olarak düşünebilirsiniz. Aradaki fark, üst üste gelmede aynı zamanda hem yukarı spinli hem aşağı spinli olmalarıdır: hem 0 hem 1. Her bir anahtara qbit denir ve "kübit" diye telaffuz edilir.

Bu kuantum niteliğinden dolayı her qbit iki bit'le eŐdeęerdir. İlk bakışta etkileyici görünmeyebilir, ama öyle. Örneğin elinizde  qbit'iniz varsa bunlar sekiz farklı Şekilde dizilebilir: 000, 001, 010, 011, 100, 101, 110, 111. Üst üste gelme tüm bu olanakları içerir. Yani üç qbit, altı bit (2x3) ile değil sekiz bit (2 üzeri 3) ile eŐdeęerdir. EŞdeğer bit sayısı her zaman 2'nin qbit sayısına yükseltilmiŐ halidir. Sadece 10 qbit, 2^{10} bit'le eŐdeęerdir; bu sayı tam olarak 1024'tür ama genellikle 1 kilobit olarak adlandırılır. Bunun gibi üstel sayılar hızla kontrolden çıkar. Sadece 300 qbit'e sahip bir bilgisayarın eŐdeęeri, gözlemlenebilir Evren'deki atomlardan daha çok sayıda bit içeren bir geleneksel bilgisayar olurdu. Böyle bir bilgisayar hesaplamaları nasıl yapabilir? Birkaç qbit içeren basit kuantum bilgisayarları halihazırda üretilip beklendiği gibi çalıŐtıkları ortaya koyulduğu için bu soru daha da öncelik kazanmıŐ durumda. Söz konusu bilgisayarlar aynı sayıda bit içeren geleneksel bilgisayarlardan gerçekten de daha güçlüdür.

Deutsch'un yanıtına göre, hesaplama, durumların üst üste gelmesine karşılık gelen paralel evrenlerin her birindeki özdeş bilgisayarlarda eşzamanlı olarak yapılır. Üç qbit'lik bir bilgisayar için bu, özdeş bilgisayarlarda yanıtı bulmaya çalışan üst üste gelmiş sekiz bilgisayar bilimcisi anlamına gelir. Bu şekilde "işbirliği" içerisinde çalışmalar gerektiğine şaşmamalı çünkü deneyçiler özdeştir ve aynı problemle baş etmek için özdeş sebeplere sahiptirler. Bunu hayalde canlandırmak çok da zor değil. Fakat 300 qbit'lik bir makine geliştirdiğimizde, ki bu elbet olacak, eğer Deutsch haklıysa, gözle görünür Evrenimizdeki atomlardan daha çok sayıda olan evrenlerin arasındaki bir "işbirliğinden" bahsediyor olacağız. Bunun fazlasıyla ağır bir metafizik yük taşıdığını düşünüp düşünmemek size kalmış. Ama öyle düşünüyorsanız kuantum bilgisayarlarının neden işlediğini açıklamak için başka bir yol bulmanız gerekiyor.

Çoğu kuantum bilgisayar bilimcisi bu çıkarımlar üzerine kafa yormamayı tercih eder. Oysa bir grup bilim insanı var ki, kahvaltıdan önce altıdan da fazla imkânsız şeye kafa yormaya alışkındır: kozmologlar. Bazı kozmologlar Evren'in kendisini açıklamanın en iyi yolu olarak Çoklu Dünya Yorumunu benimsemiştir.

Onlar Schrödinger'in dikkat çektiği, denklemlerde dalga fonksiyonunun çöküşüne işaret eden bir şey bulunmayışından yola çıkmışlardır. Kastettikleri, meşhur dalga fonksiyonudur: bütün dünyayı durumların üst üste gelmesi (evrenlerin üst üste gelmesinden meydana gelen bir Çoklu Evren) olarak tarif eden o tek fonksiyon.

Everett'ın (Wheeler'ın tavsiyesi doğrultusunda sonradan üzerinde değişiklikler yapıp kısaltılan) doktora tezinin ilk versiyonu aslında "Evrensel Dalga Fonksiyonu-

nun Kuramı" başlığını taşıyordu.³ "Evrensel" ile kelimenin tam anlamını kastediyor ve şöyle diyordu:

Durum fonksiyonu tanımının evrensel geçerliliği ileri sürölmekte olduğundan, durum fonksiyonlarının kendileri temel varlıklar addedilebilir, hatta bütün evrenin durum fonksiyonu üzerine de düşünölebilir. Bu bakımdan, fiziğin tamamının tek başına bu fonksiyonun sonucu olduğu farz edildiği için bu kurama "evrensel dalga fonksiyonu" adı verilebilir.

"Durum fonksiyonu" mevcut çerçevede "dalga fonksiyonunun" bir diğer adıdır. "Fiziğin tamamı" ise biz (fizik jargonunda "gözlemciler") dahil her şeyi ifade eder. Bu, kozmologları heyecanlandırmıştır. Tabii, heyecanlanmalarının sebebi dalga fonksiyonuna şahsen dahil edilmeleleri değil, bu biricik çökmemiş dalga fonksiyonu kavramının, genel görelilik kuramıyla çelişmeksizin bütün Evren'i kuantum mekaniği açısından açıklayabilmenin tek yolu olmasıdır. Everett 1957'de yayımlanan tezinin kısa versiyonunda, formölleştirdiği kuantum mekaniği anlatımının "genel göreliliğin kuantize edilişi için faydalı bir çerçeve sağlayabileceği" sonucuna vardı. Henüz ulaşılamadıysa da bu hayal, kozmologların fikre ilgi duymaya başladığı 1980'lerin ortalarından bu yana birçok yapıt ortaya koymasına vesile olmuştur. Ama beraberinde büyük bir yük getirdiği de bir gerçek.

Evrensel dalga fonksiyonu Evren'deki her bir parçacığın zaman içerisinde belirli bir andaki konumunu tarif eder. Bununla beraber o parçacığın o an için olanaklı her konumunu da tarif eder; gerçi uzay ve zamanın kuantum taneliliği, olanakların sayısını sınırlar. Bu sayısız, ola-

³ Sonunda, editörlüğünü B. S. DeWitt ve N. Graham'ın (Princeton University Press) yaptığı *The Many-Worlds Interpretation of Quantum Mechanics* başlıklı ciltte 1973 yılında yayımlandı.

naklı evrenlerin içerisinde, kararlı yıldız ve gezegenlerin ve o gezegenlerde yaşayacak insanların var olamayacağı birçok versiyon olacaktır. Fakat bilimkurgu hikayelerinde anlatıldığı gibi, bizimkini az çok isabetlilikle andıracak hiç değilse birkaç evren olacaktır. Tabii, diğer kurgularda da. Deutsch, ÇDY'ye göre, kurgu bir yapıtta tarif edilen her dünyanın, fizik yasalarına uyması koşuluyla, Çoklu Evren'de gerçekten de bir yerlerde var olduğuna dikkat çekmiştir. Örneğin bir *Uğultulu Tepeler* dünyası gerçekten de vardır (ama bir *Harry Potter* dünyası yoktur).

Dahası var. Biricik dalga fonksiyonu, olanaklı her zamandaki olanaklı her evreni tarif eder. Buna karşın, bir durumdan bir başkasına değişim hakkında hiçbir şey söylemez. Zaman akamaz. Everett'ın durum vektörü adlı parametresi, içinde var olduğumuz bir dünyanın tarifini, gerek anılarımız gerek fosiller gerekse uzak galaksilerden bize ulaşan ışık dahil o dünyanın tarihindeki tüm kayıtlarla birlikte içerir. Tamı tamına aynı ancak "zaman adımının" örneğin bir saniye (veya bir saat, bir yıl) kadar ilerlemiş olduğu bir evren de olacaktır. Fakat burada bir evrenin bir zaman adımından diğerine gittiğine dair bir ima yoktur. Evrensel dalga fonksiyonunca tarif edilen bu ikinci evrende bir "ben" olacak ve bu ben, ilk andaki tüm anılarımla birlikte bir sonraki saniyeye (veya saate, yıla vs.) denk düşen anılara sahip olacaktır. Ne var ki bu "ben" versiyonlarının aynı kişi olduğunu söylemek imkânsızdır. Farklı zaman durumları, tarif ettikleri olaylara göre, geçmişle zaman arasındaki fark tanımlanacak şekilde düzene girebilir ama bir durumdan diğerine değişmez. Durumların tamamı sadece vardır. Düşünmeye alışkın olduğumuz şekliyle zaman Everett'ın ÇDY'sinde "akmaz."

Benim kavrayışıma göre ise artık bir değişimin zamanı geldi. Başka türde bir teselliği, bu kez eşevresizlikte aramanın zamanı.

4.

Teselli

UYUMSUZ EŞEVRESİZLİK YORUMU

Eşevresizlik olması için bir şey en başta eşevreli olmalıdır. Fizikçiler "eşevrelilik" derken neyi kastettiklerini iyi bilir, Eşevresizlik Yorumunun destekçileri de kuantum dünyasının mevcut davranış biçiminin aslında eşevrelilikten kaynaklandığını iddia ederler.

Olup bitenlere her zamanki gibi iki delikli deney ışık tutar. İki delikten yayılan ışık (veya herhangi bir şeyin) dalgaları tek bir kaynaktan çıktığından birbirleriyle ahenk içerisindedirler. Delikler basit bir şekilde, eşevreli dalgaları farklı güzergâhlar doğrultusunda gönderir. Güzergâhların uzunlukları arasındaki farklar da iki dalga kümesinin birbiriyle etkileşme biçimine etki eder; bir yerde ahenk içerisinde, bir yerde değillerdir. Dalgaların çıkış ve inişlerinde düzenli bir örüntü vardır. Böylece dalgalar birbirleriyle girişim yaparak ışık ve karanlıktan oluşan düzenli bir örüntüyü meydana getirirler. Dalgaların arasında eşevrelilik yoksa, iki fenerden yayılıp doğruca bir duvara çarpan ışıktaki gibi, girişim örüntüsü olmaz; girişim vardır ama her şey öylesine karmakarışıktır ki ortada bir örüntü yoktur. Eşevresizlik Yorumuna göre, işler karmaşıklaştığı zaman "kuantumluk" ortadan kaybolur.

Oysa iki fenerden çıkan ışık zaten hiçbir zaman eşvrelili değildi. Uyumsuzdu. Yararlı bir analoji daha vardır: spor sahası tribünlerinde zaman zaman gördüğümüz “Meksika dalgası.” Trib ndeki herkes kollarını gelişigüzel kaldırdığı zaman, karmakarışık bir şekilde dalgalanan eller görürsünüz sadece. Ama herkes yanındakini taklit ederek elini doğru zamanda kaldırıp indirirse, stadyumun çevresi boyunca dolaşan bir dalga ortaya çıkar. Dalga eşvrelidir, gelişigüzel dalgalanma ise uyumsuz. Dolayısıyla “eşevresizlik” terimi kuantum bağlamına pek de uygun düşmez. Bu modele “kuantum mekaniğinin uyumsuz yorumu” adını vermek daha anlamlı olabilir; ama modelin tutkunları, kayırdıkları kavramlarının bu nedenle yanlış bir izlenim vereceği hissine kapılabilirler!

Bu tutkunlar eğer haklıysa, kuantumluk ile alışıldık dünyanın arasındaki sınır eşvreliliğe bağlıdır, boyuta değil. Bohr ve çalışma arkadaşları bu konuda ister istemez belirsiz bir tutum takındılar. Tek tek atomlar üst üste gelmede bulunabilmesine karşın, kedi kadar iri ve karmaşık bir cismin kuantum üst üste gelmesinde bulunamayacak denli büyük olduğunu gayet makul olarak öne sürebilirlerdi. Peki siz kutudaki kedi düşünce deneyinin farklı çeşitlerini gözünüzde canlandırdığınızda çizgiyi nereye çektiniz? Bir pire, kedinin  l  olup olmadığının veya üst üste gelmede bulunup bulunmadığının farkına varacak kadar büyük m yd ? Ya bir mikrop? Yanıtı kimse bilmiyordu.

Bir adam yanıtı bulmak için kolları sıvadı. 1960’ların sonlarında ve 1970’lerde Sussex  niversitesinde alışan Tony Leggett, kuantum mekaniği kurallarının “makroskobik” denen cisimlerin (elle tutulabilecek kadar veya daha büyük şeylerin) davranışını açıklamakta kullanılıp kullanılamayacağını test etmek amacıyla deneyler ta-

sarlamaya karar verdi. Böylelikle SQUID (Üstüniletken Kuantum Girişim Cihazı) adı verilen aygıtları geliştirdi. İlkörnek SQUID hemen hemen bir nişan yüzüğü büyüklüğündeydi, yani gayet tabii elle tutulabiliyordu;¹ ancak kullanabilmek için aşırı soğutulması gerekiyor, çalıştığı sırada tutmak mümkün olmuyordu. Elektrik akımı bir üstüniletkende dolaşmaya başladı mı sonsuza dek akar. Bir SQUID'in çevresi boyunca dolaşan böyle bir akımın davranışı elektrik ve manyetik alanlar aracılığıyla izlenip ayarlanabilir. Bu deneylerde, yüzüğün çevresini dolaşan elektron dalgasının, bir atomdan yaklaşık yüz milyon kat büyük (ve bir bakteriden, hatta pireden bile çok daha büyük) olan tek bir kuantum varlığı gibi davrandığı ortaya koyulmuştur. Leggett ilk amacına ulaşmıştı. Ama dahası var. Dalganın yüzüğün çevresi boyunca bir yönde veya diğer yönde akabileceğini, aynı anda iki yönde akamayacağını düşünebilirsiniz. Fakat yanılırsınız. 21'inci yüzyılın başlarında yapılan deneylerde, yüzüğün çevresinde her iki yönde de giden dalganın etkileri ortaya koyuldu. İki farklı dalga zıt yönlerde gitmiyor, aynı dalga aynı anda iki yönde de gidiyordur: bir üst üste gelme.

Bir cismin kuantumluğunu belirleyen, cismin boyutu değil dalgaların eşevreli oluşudur.

İlk günlerinden itibaren bu çalışmada muazzam bir ilerleme kaydedildi. Bu süre içerisinde Leggett Nobel Ödülü kazanıp şövalye ilan edildi. Şu anda da SQUID'lerin boyutları büyütölmekte, insan bedeninin ürettiği manyetik alanlara yönelik hassas algılayıcılar olarak tıpta pratik uygulamaları bulunmakta ve kuantum bilgisayarların potansiyel bileşenleri sayılmaktadır. Gelgelelim şimdilik önemli olan şu ki, SQUID'ler, dalgalar eşevreli olduğu za-

¹ Benim tutmuşluğum var.

man ayrı kuantum durumlarının makroskobik örnekleri olarak davranmaktayken, ısınıp dalgalar eşevresizleştiği zamansa kuantumluk sergilemeyi bırakmaktadır. Bohr'un dilinde "dalga fonksiyonunun çökmesine" yol açan, eşevresizlikmiş gibi görünür. Buradan, Eşevresizlik Yorumunun Kopenhag Yorumundan tek farkının ismi olması gibi bir anlam çıktığını kabul eder kimileri. Oysa bu kabul üst üste gelme ve dolanıklığın katı Eşevresizlik Yorumundaki önemli rolünü görmezden gelir.

Üst üste gelme ve dolanıklık aynı madalyonun iki yüzüdür. İki "parçacık" birbiriyle etkileştiğinde dolanık hale gelir ve bundan böyle parçacıklardan birine her ne olursa diğerini de etkiler. Esasen onlar artık tek bir varlıktır. Benzer biçimde, bir SQUID halkasının çevresi boyunca aynı anda iki yönde de giden tek dalga da birbiriyle dolanık, üst üste gelme halindeki iki dalga olarak düşünülebilir. Sonuç tek bir kuantum varlığıdır: bir yönde değil iki yönde giden bir dalga. Eşevresizlik Yorumunun, dolanıklığın dünyanın işleyiş biçimine ilişkin geçerli bir tarif olduğunun saptandığı 1980'lerdeki deneylerle hemen hemen aynı zamanda ortaya çıkması rastlantı değildir.

Peki "saf" bir kuantum varlık dış dünyayla etkileşime girip "eşevresizleşirse" ne olur? Daha az değil daha çok dolanık hale gelir. Saf bir kuantum durumundaki yalnız başına bir parçacığı gözünüzde canlandırın. Başka bir parçacıktan seker sekmez (hatta bir ışık fotonuyla etkileşse dahi) dolanık hale gelir. İki dolanık varlıktan biri üçüncü bir varlıkla etkileşirse üç varlık da dolanık hale gelir ve kuantum durumları üst üste gelme halinde olur. Dolanıklık, orman yangını gibi hızla yayıldığından, (SQUID deneyleri gibi çok özel durumlar hariç tutulduğunda) dış dünyadan ayrılmış "saf" bir kuantum sistemi diye bir şey gerçekte yoktur, bunların her ikisinden olu-



Tony Leggett
Science Photo Library

şan dolanık bir sistem vardır: ilk parçacıkla etkileşmiş olan her şey ile, onun etkileşmiş veya o ana değin temas etmiş olduğu her şeyin ve o her şeyin o ana değin etkileşmiş veya temas etmiş olduğu her şeyin üst üste gelmesi. "Eşevresizlikte" aslında bütün dünyadaki (Evren'deki) her şeyin tek bir kuantum sistemine bağlanması söz konusudur. Bir zamanlar yalıtık olan parçacık diğer her şeyle

karişmış halde olduğundan parçacığın kuantumluğunu artık saptayamayız. Sonuçta ortaya çıkan uyumsuzluk, en basit sistemler hariç, her şeyin temelinde yatan kuantumluğun meydana çıkarılmasını son derece zorlaştırır. Kuantum dünyayı tarif eden denklemlerin zaman tersinirliği olduğundan, matematikçiler size bunun prensipte mümkün olabileceğini söyleyecektir. Fakat siz birileri bu deneyi yapacak diye boşuna ümitlenmeyin.

Philip Ball'un dikkat çektiği gibi, eşevresizlik, gözlemlenebilir Evren'deki temel parçacıklardan daha çok sayıdaki kuantum durumlardan oluşan bir üst üste gelmeye eşdeğer bir uyumsuz durumu çabucak üretir. Ball şu soruyu sorar: "Bir problemin çözümü için evrende yeterli bilgi yok diye, o problemin kesinlikle imkânsız olduğu söylenebilir mi?"² Ball bir sistemin ne sürede eşevresizleştiğine ilişkin birtakım fikirler de verir. Eşevresizlik büyük cisimlerde daha hızlı meydana gelir çünkü başka şeylerle ve birbirleriyle etkileşecek daha fazla zerreciği barındırırlar. Etrafındaki moleküllerin darbelerine maruz kalarak havada asılı duran bir toz zerreciğinde eşevresizlik, ışık hızında ilerleyen bir fotonun, bir protonun çapına eşdeğer bir mesafeyi katetmesi için gereken den daha kısa sürede meydana gelir. Yıldızlararası uzayda dahi, serbest olarak süzülen ve kozmik mikrodalga ardalan ısımasının fotonları dışında hiçbir şeyle etkileşime girmeyen toz zerreciği yaklaşık bir saniyede eşevresizleşecektir. "Eşevresizlik esasen anlık ve kaçınılmazdır." Ve bu, Schrödinger'in meşhur kedisi için geçerlidir. Kedinin "hem ölü hem canlı" olabilmesi için, eşevrelilik durumu inanılmaz derecede düşük olasılıklı olan bir saf

² Elbette David Deutsch bunu probleminden bile saymazdı! Gelgelelim bu Teselli'de öncelikli olarak ÇDY değil eşevresizlik konusu işlenmektedir.

kuantumlukta “hazırlanması” gerekirdi. Bir SQUID’i saf bir kuantum durumunda hazırlamak bir şey, bunu bir kediye yapmak bambaşka bir şeydir. Hatta bunu yapacak olsanız bile, kedinin ölü veya canlı bir kedi haline eşevresizleşmesi, havada asılı duran bir tozun eşevresizleşmesinden daha hızlı meydana gelirdi.

Bu ayrıca, Kopenhag Yorumuna yöneltilen felsefi itirazlardan birini zayıflatır. Yüzeysel olarak ele alındığında KY, gözlemlenmediği veya ölçülmediği takdirde “hiçbir şeyin gerçek olmadığını” söyler. Kutudaki kedi gibi şeyler durumların üst üste geldiği hallerde var olabilir. Fikre karşı çıkanlar da “Madem öyle, kimse bakmadığında Ay var mıdır, yoksa olanaklı tüm kuantum durumlarının üst üste geldiği bir halde midir?” diye sordular. Bu anlamda, yeryüzünde yaşam olmadan önce Ay var mıydı? Bohr’un buna verebileceği tatmin edici bir yanıt yoktu. Oysa Eşevresizlik Yorumunun vardır. Güneş ışığından gelenler şöyle dursun, mikrodalga ardalardan ışımasından gelen fotonlar eşevresizlik üretilip Ay’ı “gerçek” kılmak için fazlasıyla yeterlidir.

Eşevresizlik hikâyesinin sonuna gelmiş değiliz. Fikri yalnızca buraya ve şimdiye (dolanık Evren’de “burası ve şimdi” her ne demekse artık) uygulamak yerine, kimileri bu düşünce tarzını Evren’in bütün geçmişine (veya geçmişlerine) uygulamıştır. Daha önce apayrı bir yorum olan Tutarlı Geçmişler Yorumu artık Eşevresiz Geçmişler Yorumu olmuş durumda. Ama ben hikâyenin “tutarlılık” kısmından başlayacağım.

Kuantum dünyası (yani bütün dünya) hakkında bildiğimiz şeylerin, görebildiklerimiz ve ölçebildiklerimiz olduğu fikrine geri götürür bizi bu. Bir deneyi veya ölçümü yapmadan önce, yalnızca, deneyin farklı sonuçlarının olasılığını hesaplayabiliriz. Oysa ölçümü yaptıktan

sonra, bir bakıma olanaklar yelpazesinden seçilmiş kesin bir sonuç elde ederiz. Tutarlı Geçmişler yaklaşımı, bu ölçümden edilen sonuç her neyse (bu, dünyada olup biten herhangi bir şey olabilir) geçmişle, yani tarihle tutarlı olması gerektiğini savunur. Dolayısıyla, iki delikli deneyde ortaya çıkan girişim örüntüsüne baktığımızda söyleyebileceğimiz tek şey, örüntünün, deliklerden geçip birbiriyle girişim yapmış dalgalarla tutarlı olduğudur. Bir elektron metal bir yüzeyden söküldüğünde söyleyebileceğimiz tek şey de bunun foton biçiminde hedefine ulaşan ışıkla tutarlı olduğudur.

Bütün bunların kozmoloji için taşıdığı anlamlar bilhassa Stephen Hawking ve meslektaşlarınca olmak üzere yaygın biçimde ele alınmıştır. Hawking, Evren'in kökenini kuantum yönünden anlama çabasının geleneksel yöntemini "aşağıdan yukarıya" yaklaşım olarak tanımlıyordu. Bu yaklaşımda Evren'in ilk başta dalga fonksiyonlarının üst üste gelmesi olarak nasıl görünebileceğine ilişkin tahmin yürüterek başlıyor, ardından o durumdan bugün gördüğümüz durumuna nasıl geldiğini çözmeye çalışıyordunuz. Hawking'in tercih ettiği alternatif "yukarıdan aşağıya" yaklaşımındaysa, Evren'in kökenine katkıda bulunan dalga fonksiyonlarını tespit etmek amacıyla şu anda olduğumuz yerden yola çıkıp tutarlı biçimde gerisin geriye gidiyordunuz.

Ortadaki sorun şu ki, gözlemlediğimiz sonuca varmak için birden fazla yol, yani birden fazla tutarlı geçmiş olabilir (çoğu zaman olacaktır). Bu yaklaşımla açığa çıkan benzersiz bir "Evren geçmişı" yoktur. Çift yarık deneyinin elektron versiyonunda bir elektron, algılayıcı ekrandaki belirli bir noktaya ulaştığı takdirde, hangi delikten geçtiğini bilmek imkânsızdır. İki geçmiş de gözlemimizle tutarlıdır. Oysa dünyanın tümü iki delikli deneyden çok daha

karmaşıktır, dolayısıyla tutarlı geçmişlerden oluşan çok daha geniş bir seçenek kümesine olanak tanır. Bu konuya tekrar değineceğim. Ama öncelikle şu soruyu sorayım: Eşevresizlik hikâyeye nerede giriyor?

Eğer ki her “ölçüm” (her kuantum etkileşimi) bir olanaklı geçmişler yelpazesi içerisinden seçim yapıyorsa, o halde zamanda geriye doğru, ta Büyük Patlamaya dek (hatta belki de ötesine; ancak bu konuya burada girmeyeceğim), tutarlı geçmiş versiyonları eşevresizlik (öyle kabul edilir) tarafından elene elene gittiğimizi hayal edebiliriz. Başlangıçta her şey olanaklıdır. Ama herhangi bir kuantum etkileşimi meydana gelir gelmez kimi olanaklar ortadan kalkar ve farklı evren çeşitliliği azalır. Başka bir deyişle, tutarlı geçmiş evrenlerin yelpazesi daralır. Bu süreç, olanaklı dünyalar içerisinden bizim evrenimizin geçmişini (ama şurası çok önemli ki, sadece bizim evrenimizi değil) seçe seçe şimdiki zamana kadar devam eder. Eşevresiz Geçmişler yaklaşımı benzersiz tek bir Evren seçmez. Böylece Çoklu Dünyalar temasının farklı bir biçimine, farklı bir yolu izleyerek ulaşmış olduk.

Eşevresizliği kullanarak Çoklu Dünyalar kavramını “Çoklu Geçmişler” kavramına dönüştürme olanağı bazı fizikçilere, bu sayede çoklu paralel dünyalar yükünün ortadan kalktığını düşündürdü. Hepsi eşit ölçüde gerçek olan bu dünyaların yerini de, sadece, olasılıkların içindeki hayaletimsi durumlar olarak var olmuş farklı geçmişlerin aldığını düşündürdü. Oysa 1990’ların ortalarında meselenin o kadar da basit olmadığı ortaya çıktı. Kanada’daki Perimeter Enstitüsünde görev yapan Lee Smolin, katıldığı bir konferansta bu olanaklara değinen Fay Dowker’ı dinledikten sonra bir aydınlanma yaşadı ve bunu daha sonra *Three Roads to Quantum Gravity* kitabında açıkladı:³

³ (Weidenfeld & Nicolson, Londra, 2000). Basılı.

Parçacıkların kesin konumlara sahip olduğunu gözlemlediğimiz “klasik” dünya, kuramın bir çözümünün açıkladığı tutarlı dünyalardan biri olabilir, ancak Dowker ve [Adrien] Kent’in elde ettiği sonuçlar sonsuz sayıda başka dünyaların da olması gerektiğini ortaya koymuştur. Hatta bu noktaya dek klasik olagelmiş ancak beş dakika sonra dünyamızla uzaktan yakından alakası olmayacak sonsuz sayıda tutarlı dünya vardı. Daha da rahatsızlık verici bir şey de şudur ki, o anda klasik olan ama geçmişteki herhangi bir noktada klasik [dünyaların] gelişigüzel bir karışıklıkla üst üste geldiği dünyalar vardı ... tutarlı geçmişler yorumu doğruysa, şimdiki fosillerin varlığından dinozorların yüz milyon yıl önce dünyada gezindiği sonucuna varmaya hakkımız yok demektir.

Tüm geçmişler eşit ölçüde gerçektir ve dünyamızın bildiğimiz tarihi olarak algıladığımız şey dünyaya dair sorduğumuz sorulara bağlıdır. Tıpkı elektronlarla yaptığımız deneylerdeki gibi, dalga bulmaya çalışırsak dalga, parçacık bulmaya çalışırsak parçacık, geçmişte dinozorların varlığına ilişkin delil bulmaya çalışırsak geçmişte dinozorların varlığıyla tutarlı bir tarih buluruz. Bu illaki geçmişte dinozorların “gerçekten de var olduğu” anlamına gelmez. Daha ziyade, sadece, günümüzdeki dünyanın durumunun, geçmişte dinozorların var olması olanağıyla tutarlı olduğu anlamına gelir. Smolin’in ifade ettiği gibi, elimizde “öyle bir kuram var ki, soruları değil yanıtları formülleştirebiliyoruz.”

Eşevresizlik Yorumunu, Kopenhag Yorumunun bir versiyonu veya oklu Dünyalar Yorumunun bir versiyonu olarak görebilirsiniz; sizin beğeninize kalmış. Ama hiçbirini beğenmediyseniz de endişe etmeyin. Bakarsınız, tesselliyi Küme Yorumunda bulursunuz.

5.

Teselli

YORUM OLMAYAN KÜME YORUMU

Küme Yorumu, Kopenhag Yorumunun ilk ve en basit alternatifi, Albert Einstein'ın da gözdesiydi. Einstein şöyle diyor:

Kuantum-kuramsal tanımı tekil sistemlerin eksiksiz tanımı olarak kavrama girişimi, doğal olmayan kuramsal yorumları beraberinde getirir. Tanımın tekil sistemlerin değil de sistemlerin kümelerini ilgilendirdiğine ilişkin yorum kabul edildiğinde o yorumlar hemencecik lüzumsuz hale gelir.¹

Kanada'daki Simon Fraser Üniversitesinde çalışan ve fikrin önde gelen modern destekçilerinden biri olan Leslie Ballentine, Einstein'ın "yorum hakkında yaptığı ve birçok fizikçinin en azından üstü kapalı olarak kabul ettiği eleştirisinin, kuantum durum [dalga] fonksiyonunun tekil bir sisteme değil, daha ziyade benzer sistemlerin bir kümesine ilişkin bir tanım sağladığını" açıklamaktadır. Fakat bu "yorum" aslında hiçbir şeyi yorumlamamakta, düpedüz, kuantum dünyasında tuhaf görünen her şeyin istatistik üzerinden açıklanabileceğini söylemektedir (buna yer yer

¹ Bkz. Albert Einstein: *Philosopher-Scientist*, ed. P.A. Schilpp (Harper & Row, New York, 1949).

istatistiksel yorum da denir). Bu bize daha çok, bir olay mahallindeki seyirci kalabalığına “Burada görülecek bir şey yok, ilerleyin lütfen” diyen bir polisi andırır.

İstatistik, kümelerin istatistiğidir. Ancak kümeler çoğu insanın terimi duyduğunda aklına gelen türde bir anlam taşımaz. Günlük dilde küme, bir telli çalgı kümesi gibi, ortak bir özelliği barındıran şeylerden oluşan veya birlikte işleyen bir gruptur. Bir istatistikçi içinse, 600 adet özdeş zar bir küme oluşturabilir ve bu zarların hepsi birlikte atıldığı takdirde olasılık yasaları gereği aşağı yukarı 100 adet altı, 100 adet beş, 100 adet dört, 100 adet üç, 100 adet iki ve 100 adet 1 gelmesini bekleyebiliriz. Ama aynı istatistiksel sonucu elde etmenin bir yolu daha vardır. Tek bir kusursuz zarı alıp 600 defa atın. 6’nın yaklaşık yüz defa gelmesini, 5’in yaklaşık 100 defa gelmesini vs. beklersiniz. Kuantum fiziğinde ifade edilen küme türü budur. Gaz molekülleriyle dolu bir kutu bu anlamda bir küme oluşturmazken, üzerinde aynı şekilde deney yapılan çok sayıdaki özdeş gaz kutusuysa oluşturdu. İdeal olarak, tamamen aynı parçacığın üzerinde tamamen aynı deneyi çok defa yapar ve bu “denemelerin” her birinin sonucunu gözlerdiniz. Küme budur işte. Sonuçlar da Max Born’un geliştirdiği kurallara uygun bir olasılık dağılımını izlerdi.

Böylesine idealleştirilmiş bir deneyi yapmak çok zor olurdu, ama mesele zaten bu değil. Örneğin bir milyon elektronun çift yarık deneyinden aynı anda geçip diğer tarafta algılanması yerine, aynı elektronun dönüp dolaşıp tekrar tekrar bir milyon defa geçtiğini ve her geçişinde diğer tarafta vardıgı konumun not edildiğini düşünün. Bu yorumun destekçilerinin hoşuna giden esas nokta, parçacıkların her zaman terimin günlük dilde taşıdığı anlamdaki gerçek parçacıklar olmasıdır. Dalga fonksi-

yonu ayrı ayrı parçacıklara uygulanmaz, dolayısıyla da örneğin her bir elektron gerçekten de ya yukarı spinli ya aşağı spinlidir; ancak elinizde çok sayıda parçacık olduğu zaman tek bir elektronu incelediğinizde her bir ihtimalin bulunması olasılığı (diğer koşullar sabitken) yarı yarıyadır. Dalga-parçacık ikiliği yoktur, üst üste gelme yoktur, hem ölü hem canlı kedi yoktur. Kedi deneyini aynı kediden yüz veya daha fazlasını kullanarak yürütmek elbette zor olurdu. Ancak deneyi arka arkaya yüz kediyle yapsaydınız Küme Yorumuna göre kedilerin yarısı yaşar, yarısı ölür, ama hiçbirisi üst üste gelme halinde olmazdı.

Cazip gibi duruyor. Sağduyu. Ne var ki, Euan Squires'ın dikkat çektiği gibi, "[yorumlamanın] sorunlarını çözdüğümüzü iddia etmemeliyiz. Tek yaptığımız, onları görmezden gelmekti ... tekil sistemler vardır." Peki bunun pratikte nasıl işlemesi gerekiyor? Kuantum kuramında genellikle olduğu gibi, sistem (bu durumda küme) incelendiğinde veya dış dünyayla etkileşime girdiğinde neler olduğunu anlamaya çalıştığınız zaman işler karmaşılaşır. Sistemi hazırlamak belirli bir miktarda rastlantısallık, sistemi gözlemlemek de başka bir rastlantısallık katmanını daha gerektirir. Eşevresizlik Yorumunda Evren'in tamamına yayılan dolanıklıkta olduğu gibi, yine döndük dolaştık, sistemin nerede sonlanıp dış dünyanın nerede başladığı sorununa geldik. Kimi zaman Küme Yorumunu desteklemek amacıyla öne sürülen bu dış dünyayla etkileşimin bir örneği "izlenen demlik" adı verilen deneydir.

Bu fikrin kilit noktası şudur ki, kuantum fiziğinin denklemleri her ne kadar bir sistemin bir durumda veya başka bir durumda bulunması olasılığını tanımlasa da, sistemlerin bir durumdan diğerine geçişi hakkında hiçbir şey söylemez. Denklemlerde "dalga fonksiyonunun çöküşünü" tanımlayan hiçbir şey yoktur. Ayrıca şimdiye

dek hiçbir deney, bir dalga fonksiyonunu çöküş eylemindeyken yakalamış değil. 1954 yılında Alan Turing, sürekli “izlenen” bir kuantum sisteminin asla değişmeyeceğine dikkat çekmişti. Şöyle yazıyordu:

Bir sistem, bir gözlenebilirin bir öz durumunda² başlar ve o gözlenebilirin ölçümleri saniyede N defa yapılırsa, o zaman, durum durağan bir durum değilse dahi, sistemin örneğin bir saniye sonra aynı durumda olması olasılığının N sonsuzluğa yaklaştıkça 1’e yaklaştığını, diğer bir deyişle aralıksız gözlemlerin hareketi engelleyeceğini standart kuramla göstermek kolaydır.³

Fizikçiler bunu çeşitli yollarla açıklamaya çalışmaktadır. Bu yollardan biri şudur: Yayılıp sistemin başka bir durumda bulunması olasılığını gitgide artıran bir olasılık dalgasına sahip, iyi tanımlanmış bir sistem düşünün. Uzun bir süre bekleyip sonra bakarsanız sistemi muhtemelen farklı bir durumdayken gözlemlersiniz. Ama çarçabuk bakarsanız olasılığın değişmeye vakti kalmış olmaz ve o zaman sistem aynı durumda olur. Ara bir durumda olamaz çünkü ara durumlar yoktur. Dolayısıyla dalganın tekrar aynı konumdan yayılmaya başlaması gerekir. Yeterli sıklıkta baksanız da hiçbir yere gitmez. Kuantum “demlik,” ona bakmaya devam ederseniz kaynamayacaktır. Turing’in öngörüsü buydu ve günümüzde deneylerle test edilmiş durumdadır.

Bu deneyler bir temanın çeşitlemelerinden ibarettir. Genelde “demlik,” berilyum gibi bir elementin, elektrik ve manyetik alanlarla hapsedilmiş birkaç bin adet iyonudur. İyon, bir veya daha çok elektronu sökülüp pozitif yüklü

² Bir dalga denkleminin tek bir değerine karşılık gelen bir kuantum-mekanik durum.

³ Alan Hodges’in Alan Turing: Life and Legacy of a Great Thinker (Hutchinson, London, 1983) eserinde alıntılanmıştır.

hale getirilmiş, böylelikle bu tür alanlarla işlenmesi kolaylaştırılmış bir atomdur. İyonlar, oradan kaçmak "isteyip" daha düşük bir enerji durumuna incekleri bir enerji durumunda hazırlanabilir. Sistemin durumu lazerlerin kullanıldığı hassas bir teknikle gözlemlenerek, belirli bir süre sonra kaç adet iyonun bu şekilde bozunduğu öğrenilebilir.

Yapılan tipik bir deneyde 128 milisaniye sonra iyonların yarısı bozunmuş oluyordu. Fakat lazer sadece 64 milisaniye sonra "baktığında" iyonların yalnızca çeyreği ortadan kaybolmuş oluyordu. Lazer her 4 milisaniyede bir kırpışmak suretiyle 256 milisaniyede 64 kez baktığındaysa iyonların neredeyse hepsi hâlâ başlangıç durumlarında oluyordu. Dalga fonksiyonuna karşılık gelen olasılıklar açısından bu "kaynayamamaya" sebep, 4 milisaniyenin ardından bir iyonun geçiş yapması olasılığının sadece yüzde 0,001 olmasıydı. Dolayısıyla iyonların yüzde 99,99'unun hâlâ 1. Seviye'de olması gerekiyordu. Bu her 4 milisaniyelik aralık için geçerlidir. Gözlemlerin arasındaki aralık ne kadar kısaysa, etki de o kadar güçlüdür. Dalga fonksiyonları izlendiklerinde asla çökmüyor. O halde çökmeleri neden beklensin ki? Ballentine, dalga fonksiyonlarının çökmediğini ve bunun Küme Yorumunu destekleyen deneysel bir delil olduğunu iddia etmektedir.

Gelgelelim Küme Yorumuyla ilgili ortada büyük bir sorun vardır. Küme Yorumu, dalga fonksiyonunun tekil kuantum varlıkları için geçerli olmadığı gibi, durumların üst üste gelmesi diye bir şey olmadığını da açıkça söylemektedir. Oysaki günümüzde deneylerde elektron gibi tekil kuantum varlıkların işlendiği deneyler düzenli olarak yapılmaktadır. Bu deneylerde, kuantum hesaplama gibi durumlarda kullanılan bu tekil kuantum varlıklar

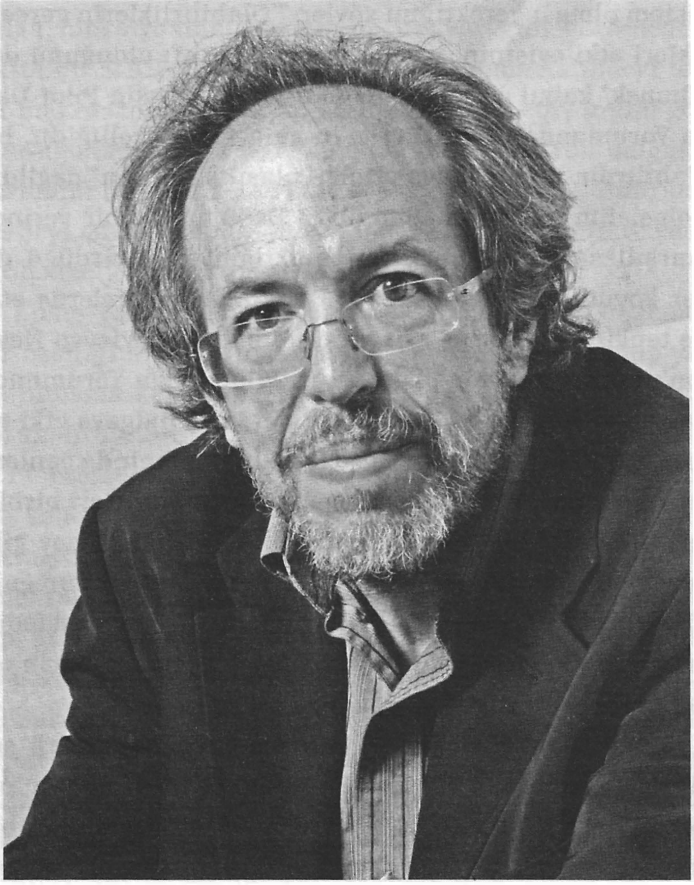
dalga fonksiyonunun tanımına uyuyor gibi görünürler. Hatta bir SQUID halkasının, üst üste gelme halindeki tek bir makroskobik kuantum varlığını temsil ediyor gibi görüldüğü (aynı anda iki yönde de giden elektron dalgası) durumlar da vardır. Ben bunun söz konusu fikre öldürücü darbeyi vurduğunu düşünürdüm. Fakat Smolin fikre yeni bir bedende tekrar hayat vermesini bilmiştir.

Küme Yorumunun bu yeni versiyonu, Evren'in temel bir özelliğı olduğu artık deneylerle ortaya koyulmuş yerel olmama kavramını tümüyle kabul eder. Benimsediğı yorumun bu başkalaşımı Einstein'ı pek memnun etmezdi muhtemelen. Smolin ise öylesine memnundur ki yorumu kendine has bir cüretle Gerçek Küme Yorumu adını vermiştir. Aradaki temel fark, tüm küme üyelerinin geleneksel Küme Yorumunda aslında aynı anda var olmayıp, Smolin'in versiyonunda eşzamanlı olarak tüm küme üyelerinin var olmasıdır. Burada ifade edileni daha özlü kılmak için bir parça jargonun üzerinden geçmemiz gerekiyor. Kümenin olanaklı kuantum bileşenlerine (örneğin hidrojen atomlarına) "olabilirler" denir çünkü olabilmeleri mümkün şeylerdir. Ama 600 adet zarın tek seferde atılması yerine tek bir zar 600 defa atıldığında zarların hepsi bir arada var olmamaktadır. Smolin'e uyarak GTY olarak değineceğim kavram, bir kümeyi meydana getiren olabilirlerin, 600 defa atılan aynı zar gibi değil de birlikte atılan 600 adet zar gibi gerçekten de eşzamanlı olarak mevcut olduğunu söylemektedir. Her kuantum sisteminde, verili herhangi bir zamanda, olabilirlerin değerlerinin belirlediğı gerçek bir durumlar kümesi vardır.

Smolin akla uygun bir prensipten yola çıkar ve Evren'deki gerçek bir sistemin davranışına etki edecek herhangi bir şeyin kendisinin de Evren'deki gerçek bir

sistem olması gerektiğini söyler. “Olabilirliklerin gerçeklikleri etkileyişinin’ hayaletimsi bir tarafı olduğunu düşünmek” kabul edilebilir değildir, der. Örneğin Pilot Dalga Yorumunda dalga, Evren’in gerçek bir özelliğidir, bir olabiliridir, bir tür hayaletimsi “olasılık dalgası” değildir. Gelgelelim bu yorum, Smolin’in Doğa’nın hiçbir yerinde “karşılıksız etki” olmaması gerektiğini öne sürdüğü diğer koyutuyla çelişmektedir. Bu, klasik sistemlerde etki ile tepkinin birbirine eşit ve zıt olduğunu söyleyen Newton’ın yasasının bir uzantısıdır. Pilot Dalga Yorumunda dalga parçacığa etki eder ancak parçacık dalgaya etki etmez, yani karşılıklılık yoktur. Smolin’in zihninde canlandırdığı kümelerdeyse bir kümenin tüm olabilirleri birbirlerine karşılıklı olarak etki ederek, iki delikli deney gibi deneylerde gördüğümüz davranışı üretir. Ayrıca, kümenin tüm bileşenleri gerçekse, aralarında (daha önce keşfedilmemiş anlamında) yeni etkileşimlerin olamaması için ortada bir sebep yoktur.

Smolin, temel düzey adı verilen en düşük enerji seviyelerinde bulunan hidrojen atomlarıyla ilgili bir örnek verir. Evren’deki bu tür her hidrojen atomunun bir kümesi vardır: gerçek olabilirlerden oluşan gerçek bir küme. Kümenin bu bileşenleri birbirleriyle yerel olmayan bir şekilde etkileşir ve bu esnada olabilirler birbirlerinin durumlarını o kuantum durumlarıyla ilişkili olasılık kurallarına uygun biçimde kopyalar. Kopyalama süreçleriyle ilgili olasılıklar bileşenlerin uzayda nerede olduğuna bağlı değildir, olabilirlerin kümenin içindeki dağılımına bağlıdır.



Lee Smolin

Nir Bareket

Dolayısıyla kuantum istatistiği, temel düzeylerindeki hidrojen atomlarının bulunacağı bir pozisyon listesine sahip olunmasını mümkün kılar, ama hangi hidrojen atomunun hangi konumda olduğunu bize söylemez. Smolin, olabilir çiftlerinin birbirlerine nasıl etki ettiğine ilişkin böylesi basit birkaç kuralla, bu sürecin kuantum sistemlerinin gözlenen davranışlarının tamamını üretebileceğini matematiksel olarak göstermeyi başarmıştır. Süreç

bunun yanı sıra kediler ve insanlar gibi şeylerin neden üst üste gelme durumunda olamayacağına da açıklama getirebilmektedir.

Smolin, kuantum mekaniğinin, temel düzeylerindeki hidrojen atomları gibi, Evren'in pek çok kopya içeren küçük alt-sistemleri için geçerli olduğunu söyler. Oysa kediler ve insanlar gibi makroskobik sistemlerin Evren'in hiçbir yerinde kopyası yoktur, bu yüzden de kuantum olabilirlerinin etkileştiği kopyalama süreçlerinden etkilenmezler. Bu anlamda etkileşebilecekleri hiçbir şey yoktur.

Buradan ilginç birtakım anlamlar çıkarılabilir. Öncelikle, Evren sonlu olmak zorundadır. Sonsuz bir evrende sizden sonsuz sayıda kopya olurdu, dolayısıyla Smolin'in denklemlerinin tanımladığı etkileşimler sizi etkiler ve kuantum parçacık gibi davranırdınız! İkincisi, kendisine ait basit matematik kurallarından Schrödinger'in dalga denklemini türettiği gibi, Smolin, klasik mekaniğin yasalarını da (Newton'ın yasaları vs) kuantum mekaniğine bir yaklaştırma olarak türetebilmektedir. Ancak Smolin kuantum mekaniğinin kendisinin Evren'in daha derin bir tanımına ilişkin yaklaştırılmış bir versiyon olduğundan şüphe duymakta (hatta böylesi tehlikeli sulara dalmasının asıl nedeni budur) ve şayet öyleyse, ışıktan hızlı sinyal göndermenin mümkün olabileceğini dahi iddia edecek kadar ileri gitmektedir. Nihai kurama henüz ulaşamadığımıza işaret eden güçlü bir ipucu şudur ki, fark etmiş olabilirsiniz, olabilirlerin arasındaki etkileşim benzersiz bir kozmik zaman olduğunu ima eder gibi görünmektedir; dolayısıyla etkileşimler eşzamanlı olarak meydana gelebilir ve bu da görelilik kuramının genişletilmesini gerekli kılar.⁴

⁴ Genel görelilik kuramında ayrıcalık tanınan bir eşzamanlılık ölçüsü bulunduğu görüşünü savunan kuramcılar vardır ama burada giremeyeceğim kadar derin bir konu bu.

“Kuantum fiziği, farklı bir bakış açısıyla formülleştirilmiş bir kozmoloji kuramına y6nelik bir yaklaştırma olmalıdır” der Smolin. Temeldeki bu yasaların aranacağı yerler, Evren’de k6çük sayılardaki kopyalar halinde, mikroskobik ile makroskobik d6nyaların arasındaki sınır b6lgesinde var olması daha olası olan sistemlerle yapılacak deneyler olabilir. Kuantum bilgisayarlar gibi şeylerle yapılan deneyler bunların Evren’de bir kopyası olup olmadığını 6ğrenmemizi m6mk6n kılabilir. Kuantum fiziğinde k6me b6y6kl6ę6ne bağlı olarak yapılacak d6zeltmeler sayesinde meydana 6ıkabilecek g6zlenebilir ger6ek etkiler olabilir.

B6t6n bunları garip bulanlara Smolin’in yaptığı bir hatırlatma var. Zamanında insanlar G6neş’in gezegenlerin dinamik davranışına etki etmesine inanmayı da imk6nsız bulmuşlardı 66nk6 bunun i6in tuhaf bir uzaktan etki olması gerekiyordu. Daha 6nce de değindiğim gibi, bu işleyişi Newton dahi a6ıklamaya yeltenmemiş, o meşhur “*Hypotheses non fingo*” (varsayımlar uydurmayacağım) ifadesini kullanmıştı. GTY, olabilirlerin arasında meydana gelen “yeni” t6rde bir yerel olmayan etkileşimi i6erir. Ancak, y6z yıldan az daha uzun zaman 6nce G6neş ile Yer’in arasındaki etkileşimin a6ıklanışının, g6n6m6zde genel g6relilik kuramının tanımladığı “yeni” t6rde bir etkileşimi i6ermesinden daha endişe verici olmamalıdır bu. Yerel olmama, aşına olmadıkları i6in fizik6i olmayanlara hayaletimsi gibi gelir. Oysa tıpkı k6tle6ekim gibi yerel olmamayı da hakikat olarak kabul eden fizik6ilerin sayısı gitgide artmaktadır. Sonu6 olarak ortada kahvaltı 6ncesi hazmedilecek 6ok da bir şey kalmadı. Uzayı yok sayan etkileşimler d6nyanın k6kl6 bir 6zelliğidir. Peki ya zamanı yok sayan etkileşimler? Teselliyi orada arayabilir miyiz?

6.

Teselli

ZAMANÜSTÜ İŞLEMSEL YORUM

Kuantum mekaniğinin İşlemsel Yorumun (İY) mazisi ışığın doğası hakkındaki bir bilmeceye dek uzanır. Bilmece Albert Einstein'ın da merakını uyandırmıştı. Işığın doğası hakkındaki bu bilinmezlik Einstein'ın özel görelilik kuramını geliştirmesine önayak olduğu için, yorum sırf bu nedenle bile ciddiye almaya değerdir. Özel kurama kapıyı aralayan kavrayış, ışıkla birlikte diğer bütün elektromanyetik ışınımların davranışını tanımlayan denklemlerin, ışık hızının herkes için eşit (günümüzde c ile yazılan bir sabit) olduğunu söylemesidir. Bana bir fener tutarsanız ve ben sizin yanınızda duruyor olursam, fenerden çıkan ışığın hızını c olarak ölçerim. Ama size doğru veya ters yönde hızla ilerlesem bile fenerden çıkan ışığın hızını yine c olarak ölçerim. Einstein bu basit hakikatten yola çıkarak görelilik kuramını geliştirmiştir.

Işık hızının her gözlemci için aynı olduğunu (ve daha-sını) söyleyen denklemler, onları icat eden on dokuzuncu yüzyıl fizikçisi Maxwell'in denklemleri olarak bilinir. Gelgelelim James Clerk Maxwell'in denklemlerinin ilginç bir tarafı daha vardır. Zamanda simetrikler. Elektromanyetik ışınım (örneğin hareket eden bir elektronla iliş-

kili bir ışınım) hakkındaki her problemde denklemlerin her zaman iki çözümü vardır. Bunların biri, bir kaynaktan çıkıp zaman içinde ileri doğru hareket ederek en sonunda dünyanın bir yerinde soğurulan “gecikmeli” dalgayı tanımlar. Diğeriyse dünyadaki soğuranlardan gelen ve kaynak olarak düşündüğümüz Şeye (bu durumda, hareket eden elektrona) gelecekte yakınsayan “ileri” dalgayı tanımlar. Çoğu fizikçi bu “ileri çözümü” göz ardı eder. Ancak, 1909’da Einstein Şöyle demiştir:

İlk durumda elektrik alanı onu üreten süreçlerin bütününden, ikinci durumdaysa onu soğuran süreçlerin bütününden hesaplanır ... soğuran cisimlerin birbirinden ne kadar uzakta hayal edildiğine bakılmaksızın her iki gösterim türü de her daim kullanılabilir. Bu sebeple [gecikmeli çözümün] [ileri ve gecikmeli dalgalardan oluşan eşit parçaları içeren] çözümden daha özel olduğu sonucuna varılamaz.¹

Soğuran cisimlerin birbirinden ne kadar uzakta hayal edildiğine bakılmaksızın. Bu yalnızca, komşularıyla etkileşen elektronlar için geçerli değildir, mesela yeryüzünden Evren’e yayılan televizyon sinyalleri için de geçerlidir. Bu süreci tanımlayan denklemler her zaman, Evren’den gelip, sinyallerin yayınlandığı televizyon antenlerine yakınsayan ileri dalgaları tanımlayan bir çözümü içerir. Burada, daha önce karşılaştığımız başka bir (yoksa aynı mı?) yerel olmama türüne işaret eden ama 1909 yılında doğal olarak Einstein’ın aklında olmayan bir ipucu vardır.

Fikri ciddiye alan az sayıdaki insanın arasında, 1940’larda Princeton’da doktorasını yapmakta olan Ric-

¹ Bkz. *The Collected Papers of Albert Einstein*, 2. cilt, ed. A. Beck ve P. Havas (Princeton University Press, 1989; John Cramer’ın *The Quantum Handshake* yapıtında da alıntılanmıştır (bkz. Kaynakça).

hard Feynman'da vardı. Tez danışmanı John Wheeler'ın² teşvikiyle, bir elektron başka bir yüklü parçacıkla etkileştiğinde, bir tür yarı dalganın hem geleceğe hem de geçmişe doğru yol aldığını ileri süren fikrini geliştirdi. Dalganın başka bir yüklü parçacıkla bulunduğu yerde, diğer parçacık zamanda hem ileri hem de geri giden kendi yarı dalgasını üretir. Oysa kuramın Feynman'a ait versiyonunda iki yarı dalga girişim yaparak, iki parçacığın arasında kuvvetlenip tam bir dalga oluşturdıkları boşluk hariç her yerde birbirini ortadan kaldırır. Feynman Princeton'da bu konu üzerine bir konuşma yaptığında onu dinlemeye gelen ünlü simaların arasında Einstein ve Wolfgang Pauli de vardı. Pauli fikrin işe yarayacağını düşünmediğini söyleyip Einstein'a kendisiyle hemfikir olup olmadığını sordu. "Hayır" dedi Einstein. "Tek kanım şu ki, bunun kütleçekimsel etkileşmeye karşılık gelecek bir kuramını üretmek çok zor olurdu."

Einstein'ın bu onayına karşın, insanlar gelecekte gelen dalgalara "inanmadığı" için fikir ihmal edildi. Fakat John Cramer, Seattle'daki Washington Üniversitesinde ders verdiği 1970'lerin sonlarında, yirmi yıl öncesinde yüksek lisans öğrencisiyken karşısına çıktı çikali ilgi duyduğu Feynman'ın fikrinin kuantum mekaniğine nasıl dahil edilebileceğiyle ilgili bir aydınlanma yaşadı. Pek çok iyi fikir gibi bu da birinin dikkat çekmesiyle meydana çıkmış oldu.

Bir kuantum sisteminde o sistemle ilişkili olan parçacık belirli bir konumda saptandığı zaman "olasılık dalgasına" ne olduğu üzerine kafa yorması sayesinde aydınlanmıştı Cramer. Her tarafa yayılmış olan dalga nasıl

² Yine aynı John Wheeler. Kendisinin uzun ve etkileyici bir başarı geçmişi vardı.

olur da o anda ortadan kaybolacağını “bilebilir”? Cramer, Florida’da bir sahilden Atlantik Okyanusuna atılmış bir şişeyle analogi kurar. Şişenin yok olup dalga halinde Avrupa’ya doğru okyanusa yayılan bir kuantum şişe olduğunu hayal edin. Şişe İngiltere’deki bir sahilde belirir. Bütün okyanusa yayılmış olan dalgalar o anda yok olur. Cramer fark etti ki, dört bir yanda kuantum “tokalaşmaları” yapan ileri ve gecikmeli dalgalar olmalıydı ve yalnızca, ileri dalgaları “yankı” haline getiren gecikmeli dalgalar parçacıkların konumunu (aradaki uzayı geçmeksizin A’dan B’ye [veya bir enerji düzeyinden diğerine] yaptıkları gizemli kuantum-mekanik transferi) etkileyebilirdi. İngiltere’deki şişeden kaynaklanan dalgalar zamanda geri yönde gidip okyanusu aşarak Florida’ya gitmiş, benzersiz bir bağlantı kurmuş, diğer dalgaları ortadan kaldırmıştı. Kramer bunu pilot dalga modeline çok benzetti. Pilot dalga modelinde parçacıklara nereye gideceklerini gösteren dalgalar vardır, ancak en önemlisi, tokalaşma için zamanın tersine çevrilmiş doğrulama mekanizması yoktur.

EPR bilmeceğine de açıklık getirir bu. Daha önce etkileşmiş olan iki parçacık, kendileri ile etkileşim sahası arasındaki tokalaşmalar aracılığıyla artık bağlantılı hale gelmiştir. Tüm bunlar Schrödinger’in meşhur denkleminin (Cramer’ın görüşüne göre) doğru tanımına uymaktadır.³

Soğuran kuramı fikirlerini kuantum mekaniğine uygulamak için elinizde bir kuantum denklemi olması ve bu denklemin, Maxwell denklemlerinde olduğu gibi, biri geleceğe doğru akan bir pozitif enerji dalgasına karşılık gelen, diğeri geçmişe doğru akan bir negatif enerji dalgasını tanımlayan iki çözüm sağlaması gerekir. İlk bakışta, bi-

³ Buradan sonraki kısım, *Schrödinger’s Kittens* [Schrödinger’in Yavru Kedileri, çev: Nedim Çatlı, Metis Yayınları, 2016] kitabımdan uyarlanmıştır.

zim (doğal olarak) geçmişten geleceğe diye yorumladığımız tek bir yöndeki bir akışı tanımladığı için Schrödinger denklemi buna uymuyor gibi görünür. Gelgelelim çoğu fizikçinin üniversitede öğrendiği (ve çoğunun çabucak unuttuğu) üzere, bu denklemin en yaygın olarak kullanılan versiyonu eksiktir. Görelilik kuramının gerekliliklerinin denklemde hesaba katılmadığını kuantum öncüleri bizzat fark etmiştir. Çoğu durumda bunun bir önemi yoktur. Bu yüzden de çoğu fizik öğrencisi, hatta kuantum mekaniği üzerine en çok çalışan fizik öğrencileri bile denklemin basit versiyonunu memnuniyetle kullanır. Oysa dalga denkleminin tam versiyonu, görelilik içeren etkilere uygun biçimde olanak tanımasıyla Maxwell denklemlerine çok daha benzerdir. Açıkça belirtmek gerekirse denklemin iki çözüm kümesi vardır: alışılmış olan basit Schrödinger denklemine karşılık gelen çözüm ve Schrödinger denkleminin bir nevi ters yansımasına karşılık gelen, negatif enerjinin geçmişe doğru akışını tanımlayan çözüm.

Bu ikilik en açık şekilde, kuantum mekaniği bağlamında olasılıkların hesaplanışında karşımıza çıkar. Bir kuantum sisteminin özellikleri durum vektörü adı verilen matematiksel bir ifadeyle tanımlanır. Durum vektörü de Schrödinger'in dalga denklemiyle tanımlanır. Bu, genelde bir karmaşık sayıdır. Bir karmaşık sayı, eksi 1'in i ile yazılan karekökünü içerir. Yani a ve b sıradan birer sayıysa $(a + ib)$ bir karmaşık sayıdır, keza $(a - ib)$ de. Örneğin bir elektronun belirli bir zamanda belirli bir yerde bulunması şansını bulmak için gereken olasılık hesaplamaları, elektronun o belirli durumuna karşılık gelen durum vektörünün karesinin hesaplanmasına bağlıdır.

Ancak, karmaşık bir değişkenin karesini hesaplamak düpedüz onu kendisiyle çarpmak anlamına gelmez. Bunun yerine, başka bir değişken üretmeniz, sanal kısmın

önündeki işareti değiştirerek karmaşık eşlenik denen bir ayna görüntü versiyonunu oluşturmanız gerekir: İşaret + olsaydı -, - olsaydı + olurdu. Dolayısıyla $(a - ib)$, $(a + ib)$ 'nin karmaşık eşleniğidir. Ardından karmaşık sayılar birbiriyle çarpılıp olasılık elde edilir. Gelgelelim bir sistemin zaman geçtikçe nasıl değiştiğini tanımlayan denklemler için, sanal kısmın işaretinin değiştirilip karmaşık eşleniğin bulunduğu bu işlemin karşılığı, zamanın yönünün tersine çevrilmesidir! 1926'da Max Born'un geliştirdiği temel olasılık denkleminde de zamanın doğasının yanı sıra biri ileri dalgaları diğeri gecikmeli dalgaları temsil eden iki Schrödinger denklem türü olanağına yönelik açık bir atıf yer alır.

Dikkate değer bir anlam çıkar buradan: 1926'dan itibaren fizikçiler ne zaman basit Schrödinger denkleminin karmaşık eşleniğini alıp bir kuantum olasılığını hesaplamak için kullansa, aslında farkında olmadan denklemlerin ileri dalga çözümünü ve zamanda gerisin geriye hareket eden dalgaların etkisini hesaba katmış oluyordu. Cramer'ın kuantum mekaniği yorumunun matematiğinde hiçbir sorun yoktur çünkü Schrödinger'in denklemine varana kadar Kopenhag Yorumundaki matematiğin birebir aynısıdır. Aradaki tek fark yorumdadır.

Cramer tipik bir kuantum işlemini, bir parçacığın uzay ve zamanda başka bir yerdeki başka bir parçacıkla tokalaşması üzerinden tanımlar. İlk adımı, bir elektronun elektromanyetik ışınım yayması, bu ışınımın da başka bir elektron tarafından soğurulması fikriyle atmıştır. Bununla beraber, yaptığı tanım, bir durumda başlayıp bir etkileşimin sonucunda başka bir duruma geçen bir kuantum varlığın durum vektörü için de işe aynı derecede yaramaktadır. İki delikli deneyin bir tarafındaki kaynaktan yayınlanıp deneyin diğer tarafındaki

bir algılayıcının soğurduğu bir parçacığın durum vektörü buna bir örnektir.

Böylesi herhangi bir tanımı günlük dilde yapmanın zorluklarından biri, zaman içerisinde eşzamanlı olarak iki yönde de giden, bu sebeple de olağan dünyadaki saatler açısından bakıldığında anlık bir şekilde meydana gelen etkileşimlerin nasıl ele alınacağıdır. Cramer bunu yapmak için bilfiil zamanın dışarısında durur ve bir tür sözde-zaman üzerinden yapılan bir tanımın anlamsal aracını kullanır. Her ne kadar anlamsal bir araçtan fazlası olmasa da bunun çoğu insanın tabloyu zihninde canlandırmasına yardımcı olduğu kesindir.

İşleyişi şöyledir. Bu tabloda bir kuantum varlık (salıcı) dış dünyayla etkileştiğinde, söz konusu etkileşimi, geleceğe yayılan bir gecikmeli dalga ile geçmişe yayılan bir ileri dalganın zaman-simetrik karışımı olan bir alanı üreterek yapmaya çalışır. Olup biteni gözünüzde canlandırabilmek için öncelikle ileri dalgayı göz ardı edip gecikmeli dalganın hikâyesini takip edin. Gecikmeli dalga etkileşebileceği bir varlıkla (soğurucuyla) karşılaşana dek gelecek yönünde ilerler. Etkileşim sürecinde ikinci varlık yeni bir gecikmeli alan üretir ve bu yeni alan ilk gecikmeli alanı ortadan kaldırır. Dolayısıyla soğurucunun geleceğinde, geriye hiç gecikmeli alanın kalmadığı bir nihai sonuç elde edilir.

Ancak, soğurucu da salıcıya doğru, başlangıçtaki gecikmeli dalganın izlediği yol boyunca zaman içerisinde gerisin geriye hareket eden negatif bir ileri dalga üretir. Bu ileri dalga salıcıda soğurulur, bunun sonucunda başlangıçtaki varlığın geri teperek tekrar geçmişe doğru ikinci bir ileri dalgayı yaymasına yol açar. Bu “yeni” ileri dalganın “başlangıçtaki” ileri dalgayı hepten ortadan kaldırmasıyla, başlangıçtaki yayınlanmanın meydana geldi-

ği andan önceki geçmişe giden net bir ışınlım olmaz. Geriye sadece, salıcı ile soğurucuyu birbirine bağlayan bir çift dalga kalır. Bu çift dalga, yarısı geleceğe pozitif enerji taşıyan gecikmeli dalgadan, diğer yarısı geçmişe (negatif zaman yönünde) negatif enerji taşıyan ileri dalgadan meydana gelir.

İki negatif bir pozitif ettiğinden, bu ileri dalga, sanki o da salıcıdan soğurucuya doğru giden bir gecikmeli dalgaymış gibi, başlangıçtaki gecikmeli dalgaya eklenir. Negatif enerji ve negatif zaman birbirine eklenerek, zamanda ileri doğru giden pozitif enerjiyi meydana getirir. Cramer'ın sözleriyle:

Salıcının, soğurucuya giden bir "teklif" dalgası ürettiği düşünülebilir. Ardından soğurucu, salıcıya bir "onay" dalgasını geri gönderir ve uzay-zamanda gerçekleşen bir "tokalaşmayla" süreç tamamlanmış olur.⁴

Ancak bu yalnızca, sözde-zaman bakış açısından görünen olaylar silsilesidir. Gerçekte süreç zamansızdır, bir anda olup biter.

"Olaylar zincirinde özel olan bir halka varsa, o halka zinciri sonlandıran halka değildir" der Cramer. "Özel halka, zincirin en başındaki, teklif dalgasından çeşitli onay dalgaları almış olan salıcının bunlardan olasılık kuralları uyarınca gelişigüzel seçilen birini kuvvetlendirdiği ve o belirli onay dalgasını tamamlanmış bir işlem olarak gerçekliğe taşıdığı andır. Sona gelindiğinde zamansız işlemin bir 'zamanı' yoktur."

İki delikli deneyin esas gizemini bu nasıl çözer? İY'ye göre, bir gecikmeli "teklif" dalgası yayılarak deneydeki iki delikten geçer, algılayıcı ekrandan çıkan bir ileri "onay dalgasını" tetikler, o onay dalgası da dönüp kaynağa git-

⁴ *Reviews of Modern Physics*, 58. cilt, s. 647, 1986.

mek üzere deneydeki deliklerden geçer. Her bir parçacık hangi teklifi seçeceğini gelişigüzel seçer ve böylelikle bir girişim örüntüsü oluşturur. Fakat deneyin kurnazca hazırlanmış bir gecikmiş versiyonunda parçacık yola çıktıktan sonra deliklerden biri kapatılırsa parçacık bunu zaten “biliyordur” çünkü onay dalgası tokalaşmak üzere geri döndüğü sırada geçebileceği tek bir delik vardı. Cramer:

Gözlemcinin hangi deneyi yapacağına ne zaman karar verdiğiyle ilgili sorun artık önemini yitirmiştir. Gözlemci deneyin kurulumunu ve sınır koşullarını belirlemiş ve işlem bunlara uygun olarak şekillenmiştir. Dahası, algılama olayının (diğer tüm etkileşimlerin aksine) bir ölçümü içeriyor olması da artık önemli değildir, dolayısıyla gözlemcinin süreçte özel bir rolü yoktur.

Kuantum fiziğinin bilmecelerinin çözüme kavuşturulmasına ilişkin bu başarı, sağduyuya ters düşer gibi görünen tek bir fikri kabul etmek pahasına elde edilmiştir: kuantum dalgasının bir parçasının gerçekten de zamanda gerisin geriye hareket edebileceği fikrini. İlk bakışta, nedenlerin yol açtıkları olaylardan her zaman önce gelmesi gerektiğine ilişkin sezgimizle büsbütün çelişmektedir bu. Halbuki daha yakından incelendiğinde, İşlemsel Yorumun gerektirdiği türdeki zamanda yolculuğun, olağan nedensellik kavramını ihlal etmediği ortaya çıkar. Zaman da gerisin geriye hareket eden bir ileri kuantum dalganın yardımıyla zamansız bir tokalaşma gerçekleştiği zaman, bunun olağan dünyadaki nedenselliğin mantıksal örüntüsü üzerinde hiçbir etkisi olmaz.

İşlemsel Yorumun zamanı ele alışının sağduyudan farklı olmasına şaşmamalı, çünkü İşlemsel Yorum görelilik kuramının etkilerini açık bir şekilde kapsamaktadır. Buna karşılık, Kopenhag Yorumu zamanı klasik (Newtoncu) yönden ele alır. Bell Eşitsizliği’ni Kopenhag Yorumu

zerinden ölçen kuantum deneylerinin sonuçlarını açık-
lamaya dönük girişimlerin hepsinde görülen tutarsızlı-
ğın temelinde yatan da budur. Işığın hızı sonsuz olsaydı
problemler ortadan kalkardı; Bell Eşitsizliğı'yle ilgili s-
relerin yerel olmacı ve yerel olmamacı açıklamaları ara-
sında hiç fark olmaz, sıradan Schrödinger denklemi olup
bitenlerin hatasız bir tanımlaması olurdu (sıradan Schr-
dinger denklemi aslında, ışık hızı sonsuz olduğı zaman
doğru olan "grelı" denklemdir).

Zamansız tokalaşma, zgr irade ihtimalini nasıl etki-
ler? İlk bakışta sanki her Şey geçmişle gelecek arasında-
ki bu iletişimlerce önceden ayarlanmış gibi görünebilir.
Yayınlanan her foton ne zaman ve nerede soğurulacağını
zaten "biliyordur;" iki delikli deneyde yarıklardan ışık hı-
zında geçen her kuantum olasılık dalgası, diğerk tarafta
onu nasıl bir algılayıcının beklediğini zaten "biliyordur."
Ne zamanın ne uzayın bir anlam ifade ettiğı, olmuş veya
olacak her Şeyin düpedüz olmakta olduğı, donuk bir Ev-
ren imgesiyle karşı karşıyayız.

Gelgelelim benim zaman erevemde kararlar hakiki
bir zgr iradeyle ve sonuçlarına dair kesin bir bilgiden
haberdar olunmaksızın verilir. (Makroskobik dünyada)
karar vermek (hem insanların verdiğı kararlar hem de
atomların bozunma sürecindeki seçimler gibi "kuantum
seçimleri") zaman alır. Mikroskobik dünyanın zamansız
gerçekliğini meydana getiren de bu kararlardır.

Cramer kendi yorumundaki öngörülerin geleneksel ku-
antum mekaniğı yorumlarındakilerden farksız olduğunu
vurgulamak için çok çaba sarf eder. Yorumunun, kuantum
dünyasında olup bitenler üzerine insanların kafaları ka-
rışmadan düşünmesine yardımcı olabilecek kavramsal
bir model olarak sunulduğunun, ayrıca bilhassa öğre-
timde faydalı olabilecek ve kuantum olgularının gizemini

ortadan kaldıracak kurum ve kavrayışların geliştirilmesi bakımından kıymetli bir araç olacağının altını ısrarla çizer. Gerçi İşlemsel Yorumun diğer yorumlarla bu açıdan karşılaştırıldığında aşağı kalacağı hissine kapılmaya zaten gerek yoktur, çünkü o yorumların hiçbiri kuantum olgularını anlayışımıza yardımcı olmak için tasarlanmış kavramsal birer modelden fazlası değildir ve hepsi de aynı öngörülerini içerir.

Ortadaki sorun şu ki, tüm Teselli'ler eşit oranda iyi, eşit oranda kötüdür. Hiç değilse bunun şöyle bir anlamı var: İçinize en çok sinen hangisiyse onu seçip diğerlerini göz ardı etmekte özgürsünüz.

SONUÇ

AKIL SAĞLIĞIYLA İLGİLİ BİR KOŞUL YOK

Yeryüzündeki en parlak bilim dehalarının çoğu, kuantum mekaniğinin anlamı üzerine geçtiğimiz doksan yıldır kafa patlatıyor.

Burada açıkladığım altı muhtemel Teselli onların buldukları en iyi fikirler. Kısaca şöyle özetlenebilirler:

Bir. Siz bakmadığınız takdirde dünya yoktur.

İki. Parçacıkları görünmez bir dalga oradan oraya itmektedir ama parçacıkların dalga üzerinde hiçbir etkisi yoktur.

Üç. Meydana gelmesi olanaklı olan her şey bir paralel gerçeklikler yelpazesinde meydana gelir.

Dört. Meydana gelmesi olanaklı olan her şey zaten oldu ve biz onun yalnızca bir kısmını fark ettik.

Beş. Her şey, diğer her şeyi sanki uzay yokmuşçasına anlık olarak etkiler.

Altı. Gelecek geçmiş etkiler.

Feynman'ın *The Character of Physical Law*'da yazdığı gibi: "Sanırım, kuantum mekaniğini kimsenin anlamadığını kendimden emin bir şekilde söyleyebilirim ... Eğer becerebilerseniz, kendi kendinize 'İyi de nasıl böyle olabilir ki?' diye sorup durmayın çünkü o zaman yönünüzü şaşırır, şimdiye dek diğer tarafından hiç kimsenin çıkmadığı bir çıkmaz sokağa saparsınız. Nasıl böyle olabildiğini bilen yok."

İLAVE OKUMA

Kolay

Philip Ball, *Beyond Weird* (Bodley Head, Londra, 2018)

Brian Clegg, *The Quantum Age* (Icon Books, Londra, 2014)

John Gribbin, *The Quantum Mystery* (Kindle Single)

David Lindley, *Where Does The Weirdness Go?* (Basic Books, New York, 1996)

George Musser, *Spooky Action at a Distance* (Scientific American/Farrar, Strauss & Giroux, New York, 2015)

Heinz Pagels, *The Cosmic Code* (Michael Joseph, Londra, 1982)

Euan Squires, *The Mystery of the Quantum World*, ikinci baskı (Institute of Physics, Bristol, 1994)

Orta karar

John Cramer, *The Quantum Handshake* (Springer, Heidelberg, 2016)

Richard Feynman, *The Character of Physical Law*, yeni baskı (Penguin, Londra, 1992)

Zor

John Bell, *Speakable and Unspeakable in Quantum Mechanics* (Cambridge University Press, 1987)

Richard Feynman, Robert Leighton ve Matthew Sands, *The Feynman Lectures on Physics*, III. cilt (Addison-Wesley, Reading, MA, 1965)

Leonard Susskind ve Art Friedman, *Quantum Mechanics* (Allen Lane, Londra, 2014) (çok zor ama çok kapsamlı)

Eğlenceli

<https://www.poetryfoundation.org/poems/43909/the-hunting-of-the-snark>