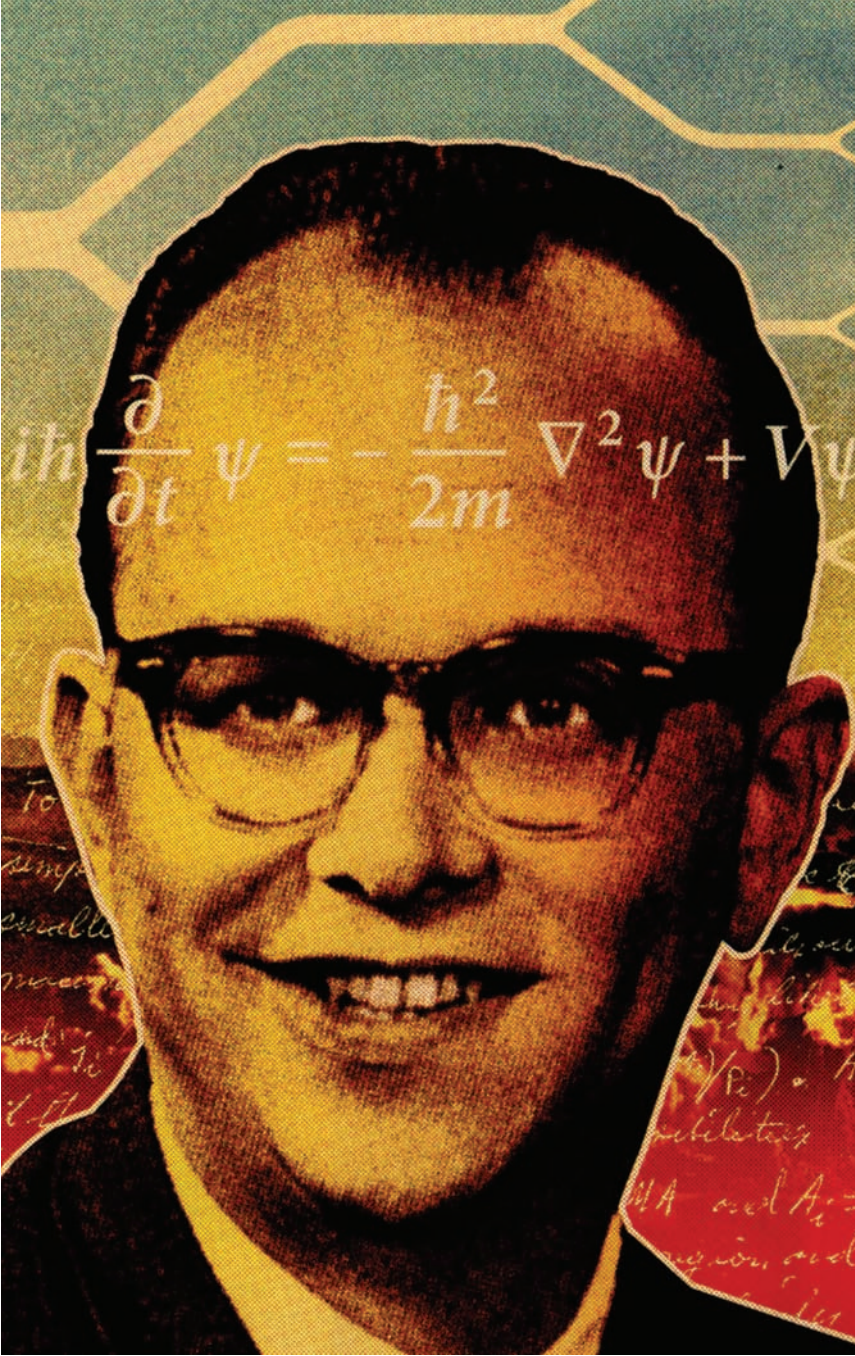


KUANTUM ÖLÇÜMÜ SORUNU VE EVERETT'İN ÇOKLU DÜNYALARI



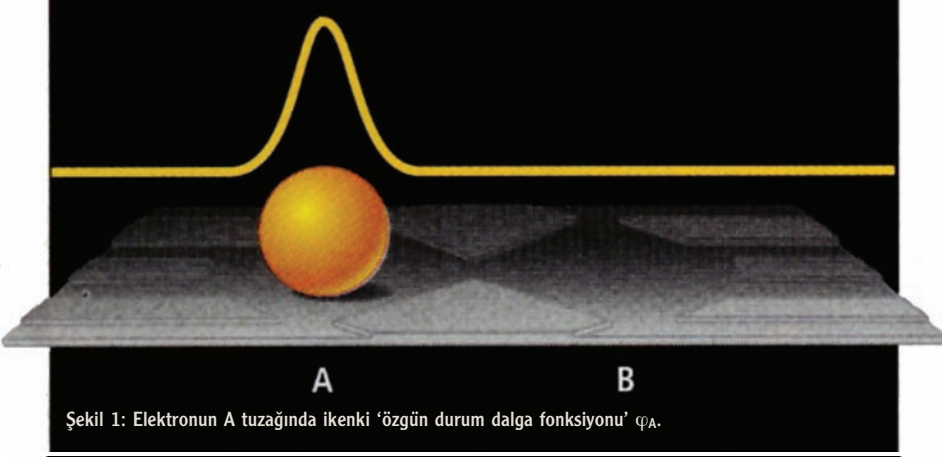
Kuantum mekaniği: Kuantum mekaniğinde henüz yanıtlanmamış olan bir soru, parçacıkların bileşik kuantum durumları ile, gözlemediğimiz klasik

dünya verileri arasındaki ilişkinin ne olduğudur. Kopenhag yorumu ve Hugh Everett'in çoklu evrenler tezi, kuantum ölçümü sorusuna, çarpıcı bi-

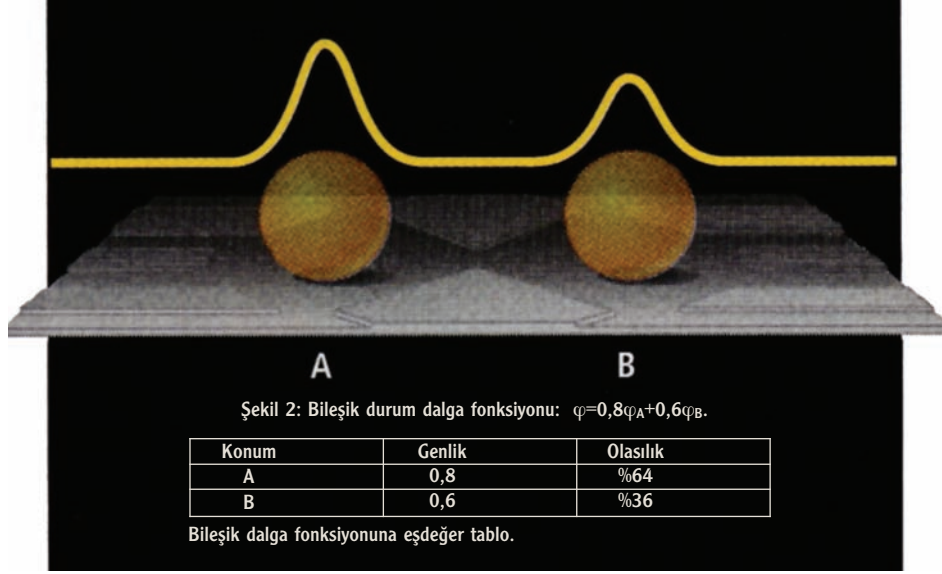
çimde farklı iki yanıt veriyor. Gerçi başka yorumlar da var. Ama Everett'in 50'li yıllarda yaptığı çalışmaya ilgi giderek artıyor...

Önümüzde bir parçacık, örneğin bir elektron olduğunu varsayalım. A ve B noktalarında, bu elektronu yakalayabilecek; örneğin artı yüklü iki iyonun oluşturduğu; nano ölçekte iki potansiyel çukurundan oluşan, iki tuzak bulunsun. O halde elektron, A veya B'de olabilir. Eğer A'da yakalanmışsa, dalga fonksiyonu ve dolayısıyla, konumuyla ilgili olasılık dağılımı; A'da bir zirveye ve tüm diğer noktalarda sıfır değerine sahip olan bir 'delta fonksiyonu' şeklindedir (φ_A). Şekil 1'dekine benzeyen... B noktasında yakalanmış ise; bu noktada zirveye, diğer noktalarda sıfır değerine sahip olan, başka bir 'delta fonksiyonu' şeklinde (φ_B)... Bunlar sistemin, yani elektronun bulunabileceği 'özgün durum dalga fonksiyonları'nı oluşturmaktadır.

Başlangıçta elektronun A tuzağına yakalanmış, yani dalga fonksiyonunun φ_A olduğunu varsayalım. Sonra sol taraftan, yönü sola doğru olan bir elektrik alanı uygulayarak, elektronu harekete zorlayalım. Eksi yükler üzerindeki elektrik kuvveti alana ters yönde olduğundan, elektron B tuzağına doğru harekete geçer. Yani, φ_A dalga fonksiyonundan sıyrılıp, φ_B dalga fonksiyonuna bürünme sürecine girer. Fakat, yeterince kısa bir süre sonra, bu geçiş tamamlanamadan, elektrik alanını ortadan kaldıralım. Elektron 'iki arada bir derede' yakalanır. Diyelim B'ye geçişi %36 oranında tamamlamış, %64 oranında da A'da kalmış olsun. Bu 'bileşik durum'daki dalga fonksiyonu, Şekil 2'de görüldüğü gibidir ($\varphi=0,8\varphi_A+0,6\varphi_B$). Dikkat edilecek olursa, iki özgün durum fonksiyonunu çarpan katsayıların, yani genlikle-



Şekil 1: Elektronun A tuzağında ikenki 'özgün durum dalga fonksiyonu' ψ_A .



Bileşik dalga fonksiyonuna eşdeğer tablo.

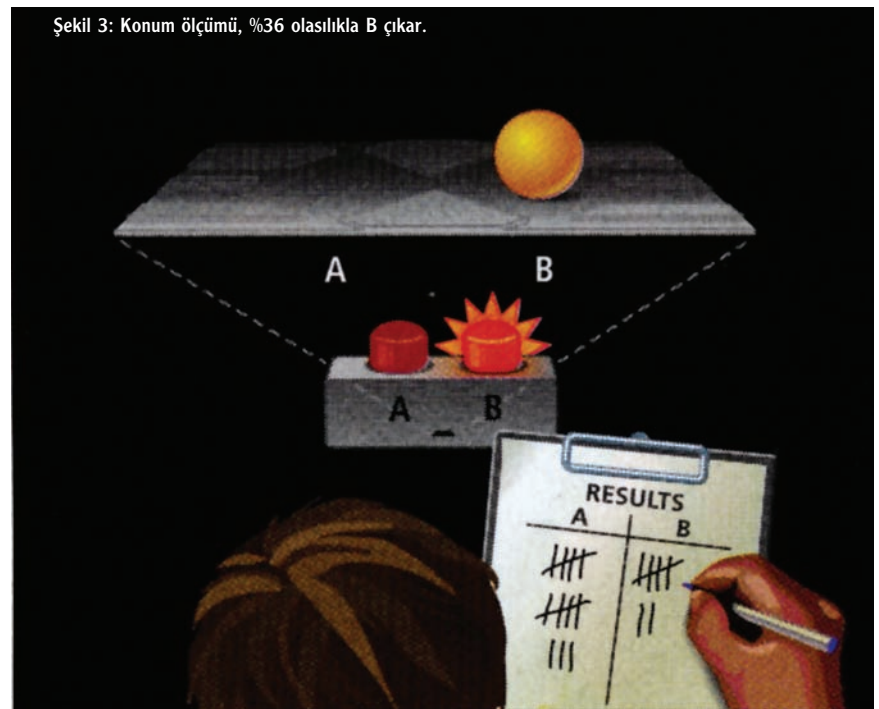
rin kareleri, elektronun bu özgün durumlarda bulunma olasılıklarını vermektedir. Öte yandan, bileşik dalga fonksiyonunu, olası özgün durumlarla genliklerinin bir listesi olarak düşünmek de mümkün.

Kuantum mekaniğinin bir garipliği şu: Sistem, yani örneğimizdeki elektron, bileşik kuantum durumunda iken konumu ölçüldüğünde, ilk elde ölçümün bize, A ve B'nin, %64 ve %36 olasılıklarıyla tartılmış ortalamasını vermesi beklenebilir ($0,64A + 0,36B$). Halbuki öyle değil; iki değerden birini rastgele olarak verir. "Peki o zaman; %64 ve %36 olasılıkların anlamı nedir?..." Şu: Aynı deney yeterince fazla sayıda kez tekrarlandığında, ölçümlerin %64'ü A, %36'sı da B değeriyle sonuçlanır. Daha genel olarak; bileşik durumda olan bir sisteme ait fiziksel değişkenlerden birisi ölçüldüğünde, karşımıza; bu fiziksel değişkenin, bileşik dalga fonksiyonunu oluşturan özgün durum dalga fonksiyonlarından *rastgele* birine ait olan özdeğeri, o öz-

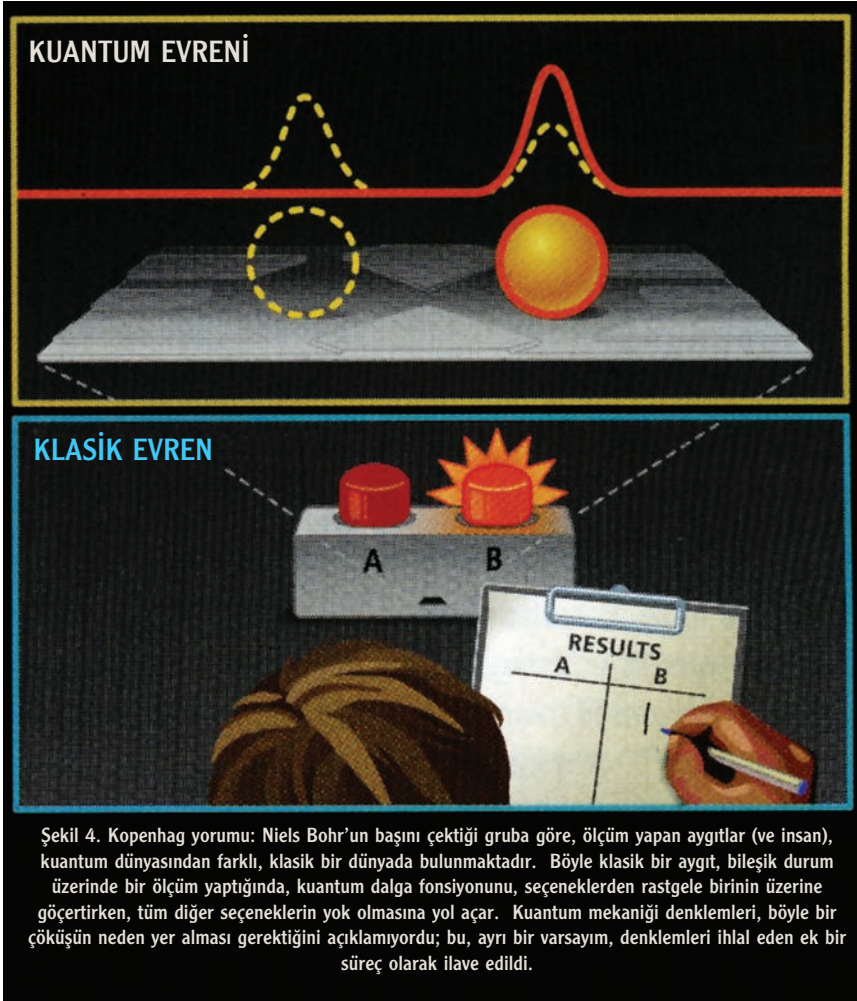
gün durum fonksiyonunun *genliğinin mutlak değerinin karesiyle orantılı bir olasılıkla çıkar*. Tek bir ölçümle

bir 'ağırlıklı ortalama değer' bulmak mümkün değildir...

Ölçüm sonuçlarının A ve B'nin ağırlıklı ortalamasını değil de, A veya B'yi veriyor olması, hemen akla şu soruları getiriyor: "Peki, bir dizi ölçüm sonucunun sergilediği olasılık dağılımı tamam; bu klasik olasılıklar kuramında da var. Ama herhangi bir ölçüm sonucunda A ya da B değerinin karşımıza çıkmış olması, elektronun ölçümden hemen önce A ya da B noktasında olduğu anlamına gelmez mi? Hal böyle olunca, elektronun ölçüm öncesinde bulunduğu konumun kuantum mekaniğiyle kesin olarak saptanamayışı; kuramın eksik ve bazı 'gizli değişkenler'i gözden kaçırıyor olmasından kaynaklanıyor olamaz mı? Bu gizli değişkenleri de hesaba katan daha 'tamam' bir başka kuram, konumu kesin olarak saptayamaz mı?..." Gerçi daha sonra yapılan 'Bell deneyleri', geçerli bir 'gizli değişkenler kuramı'nın var olması olasılığını, hemen tümüyle ortadan kaldırdı. Fakat o zamanlar, Albert Einstein'ın kuantum mekaniğine ilk itirazları bu doğrultuydu. Kuramın kurucuları olan Niels Bohr ve Werner Heisenberg'in başını çektiği 'Kopenhag okulu'nun verdiği yanıt, şu anlamdaydı: "Hayır. Elektron, aynı deneyin tekrarıyla yapılan ölçümlerin %64'ünün hemen öncesinde A noktasında ve %36'sının da hemen



Şekil 3: Konum ölçümü, %36 olasılıkla B çıkar.



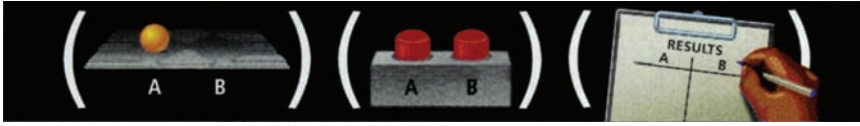
öncesinde B noktasında değil; tümünün hemen öncesinde, %64 olasılıkla A noktasında ve %34 olasılıkla da B noktasında olmak üzere, aynı anda her iki noktada birden bulunmaktadır.” Bu yanıtın geçerliliği, daha sonra yapılan ‘girişim deneyleri’yle kanıtlandı. Klasik algılarımıza ters düşse de, elektronun aynı anda iki yerde birden bulunabildiği durumlar var. Çünkü, bir elektron tabancasıyla, üzerinde yan yana iki yarık bulunan bir plakaya doğru, birbirleriyle etkileşmelerine fırsat vermeyecek kadar uzun zaman aralıklarıyla, teker teker gönderilen elektronlar; plakanın arkasındaki bir filmin üzerine düştüklerinde, girişim saçakları oluşturuyor. Yani, tıpkı bir dalga gibi, yarıkların ikisinden birden aynı anda geçiyorlar. Öyle olsaydı, elektronların her biri yarıkların yalnızca biri ya da diğerinden geçiyor olsaydı; filmin üzerinde, elektron tabancasının ucundan başlatılıp yarıklardan geçirilen doğruların filmi kestiği iki noktada dikey birer çizgi olurdu, o kadar... Dolayısıyla, elektron

hem dalga, hem de parçacık gibi davranıyor.

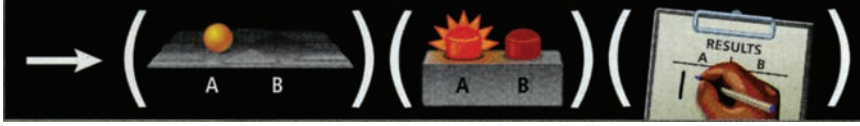
Dalga davranışında dahi; elektronun iki noktada birden aynı anda bulunabilmesi, bu sefer de bir başka soruya yol açıyor: A ve B noktalarının ikisinde birden bulunan bu elektron, ölçüm yapıldığında ansızın bunlardan birisinde, örneğin B konumunda, neden ve nasıl belirlemekte? Elektronu temsil eden bileşik dalga fonksiyonu neden ve nasıl, A’daki eteğini apar topa toplayıp B’ye kaçıyor?... Bohr’un, sorunun ‘neden’ kısmına verdiği yanıt; ölçüm sürecinin pasif bir süreç olmayıp, aktif olduğu şeklindeydi: Ölçüm aygıtı ve gözlemci, üzerinde ölçüm yapılan kuantum sisteminin dışında, makroskopik ölçekte klasik birer sistem. Bu klasik sistem, bileşik durumdaki bir kuantum sistemi üzerinde ölçüm yaparken, onu etkiler. ‘Nasıl’ı da şu: Bileşik fonksiyonu, özgün durum fonksiyonlarından rastgele birine göçerterek... Örneğimizdeki $\varphi=0,8\varphi_A+0,6\varphi_B$ bileşik dalga fonksiyonunu, %64 olasılıkla φ_A ’ya ve %36 olasılıkla da φ_B ’ye

göçer ve aygıt ölçüm sonucu olarak, örneğin ibresiyle, o özgün durum fonksiyonuna ait özdeğeri gösterir. Gözlemci de bu sonucu hafızasına kaydeder. Örneğin biz, kaba konum testlerinde gözümüzü kullanırız ve bu makroskopik aygıt, her nesne için tek bir konum ölçer. Hal böyle olduğundan, biz asla, örneğin bir bilardo topu gibi makroskopik bir nesneyi aynı anda iki yerde birden görmeyiz. (Öyle mi acaba?)...

Elektronun parçacık davranışıyla ilgili sorular da vardı tabii: ‘Bileşik kuantum durumunda ikenki ölçüm sonucu tamam; A ya da B olacak; ama ölçüm öncesinde bileşik kuantum durumdaki elektronun konumu ‘aslında’ nedir? Acaba A ile B arasında bir yerde midir?’ Heisenberg’in yanıtı ‘hayır’dı. Nedeni şu: Bir sistemi, fiziksel değişkenleri betimler ve değişkenlerinin hepsi belirlenmişse, sistem tam olarak, yani ‘iyi tanımlanmış’ olur. Fiziksel değişken nedir? Sistemin ölçülebilir bir özelliği. O halde, bir ‘fiziksel değişken’in ölçülebilir olması şart: Ölçülebilirse anlamlı, aksi halde anlamsız. Demek ki, fiziksel değişkenin anlamı, ölçülebilir olmasında yatıyor. Örneğin bir “parçacığın konumu” ifadesi, “parçacığın konumu”nun ölçülebileceği uygun bir deney tanımlanabiliyorsa anlam taşır, aksi halde taşımaz. O halde ölçme, anlam kazandıran bir eylem: “ölçme eşittir anlam.” Öte yandan, fiziksel değişken ne zaman var?... Fiziksel değişkenin anlamı ölçülebilir olmasında yattığına göre; ölçüldüğünde var, aksi halde yok. O halde ölçme, aynı zamanda yaratıcı bir eylem: “ölçme eşittir yaratmak”. Ölçüm, fiziksel değişken olmaya aday bir niteliğe sadece anlam kazandırmakla kalmıyor; ona ait özgün bir ‘özdeğer’i çıkarıp ortaya koyuyor, adeta yaratıyor. Sonuç?... Fiziksel değişkenler ölçüm anında var ve anlamlı, aksi halde yok ve anlamsız. Ama biz klasik dünyadaki yaşamımızda, parçacık üzerinde yaptığımız bir dizi gözlemden hareketle, parçacığın geçmişine ait anlık fotoğraflar oluşturup, bunları birleştirerek ve hatta, üzerinde gözlem yapmadığımız zaman aralıklarındaki boşlukları da doldurarak; “parçacık önce şuradaydı, sonra şu momentumla buraya geldi, arada şu patikayı izlemiş olmalı” gibi tasarımlar inşa edebiliriz. Büyük ölçekli dünya-



a) Parçacık A'da iken, her üç sistem de birer özgün durumdadır ve toplam dalga fonksiyonu, üçünün dalga fonksiyonlarının çarpımından oluşur: $\varphi_T = \varphi_A \cdot \varphi_B \cdot \varphi_G$.



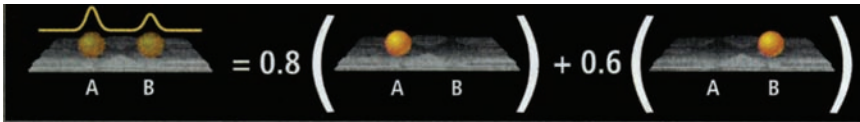
b) Ölçüm aygıtı sadece A değerini ölçebilir, A düğmesi yanar ve gözlemci, fotonlar kendisine ulaştığında, hafızasında A sütununu işaretler.

Şekil 6: Elektron özgün durumlardan birinde, örneğin A konumunda iken, tek bir ölçüm var; ölçüm aygıtı ve gözlemci ayrışmaz.

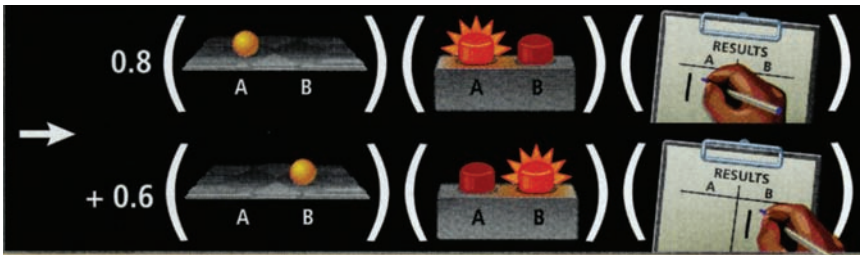
mızdaki, örneğin çakıl taşlarını suda sektirme deneyimlerimizin kazandırdığı alışkanlıklardan hareketle... Böyle bir tasarımı gerçek saymak, ona gerçeklik atfetmek; bu isteğe bağlı, kişisel bir tercih. Heisenberg'in tercihi, bunların gerçek olmadığı yönündeydi. Ona göre durum; üzerinde ölçüm yapılmadığı sırada, elektronun belli bir konumda değil, dalga fonksiyonunun belirlediği olasılık dağılımına karşılık gelen 'elektron bulutu'ndaki her yerde olduğu şekliydi. Yani, kuantum mekaniği kesin sonuçlar değil, yalnızca, bir dizi olası sonucun gerçekleşme olasılıklarını verir. "Parçacığın klasik 'patika'sı sadece, biz o gözlem dizisini yapmış olduğumuz için ortaya çıkıyor"; beliriyor, varlık kazanıyor: Aksi halde yok, gözlem yapmasaydık oluşmazdı. Einstein'ın buna yanıtı, "Ay kimse bakmazken de orada" oldu, Dünya'nın etrafında doluyor...

Kopenhag okulunun bu yorumu, ölçmeye ve gözlemciye, çok özel bir statü tanıyor; onu aktif bir öge olmak-

tan öte, algıladığımız klasik evrenin yaratıcısı, adeta Tanrı konumuna yükseltiyordu. Öte yandan, yorum evreni ikiye ayırmıştı. Birincisi; her bir farklı gerçekleşme olasılıklarına sahip bileşenlerden oluşan bileşik kuantum durumundaki bir sürü alt sistem içermesi nedeniyle, adeta bir seçenekler okyanusu barındıran 'kuantum dünyası'. İkincisi; bizim gibi iri kıyım sistemlerden oluşan ve içinde yapılan gözlemlerin, kuantum dünyasının barındırdığı olasılık kümelerinden bazılarını, üyelerinden rastgele birerinin üzerine göçerttikten sonra çekip çıkartarak sunduğu verilerin resmettiği 'klasik dünya'. Bazı kuramcılar ise, kuantum mekaniğinin yorumuna yönelik tartışmaları yersiz buluyordu. Örneğin Paul Dirac fizik modellerinin, küçük ölçekteki fiziği bizim için, günlük yaşamda karşılaştığımız nesnelere ilişkilerimiz çerçevesinde geliştirmiş olduğumuz 'günlük dil'de anlayabileceğimiz hale koymak zorunda olmadığı kanaatindeydi. İyi bir modelin yargıcı, deneysel



a) Parçacık bileşik durumda iken, dalga fonksiyonu $\varphi = 0,8\varphi_A + 0,6\varphi_B$ şeklinde.



b) Üçlü sistemin toplam dalga fonksiyonu, $\varphi_T = (0,8\varphi_A + 0,6\varphi_B) \cdot \varphi_B \cdot \varphi_G$ ikiye ayrışır:

$$0,8\varphi_A \cdot \varphi_B \cdot \varphi_G + 0,6\varphi_B \cdot \varphi_B \cdot \varphi_G.$$

Şekil 7. Elektron bileşik durumda iken, %64 olasılıkla A, %34 olasılıkla B değeri ölçülmüştür; ölçüm aygıtı ve gözlemci ikiye ayrışır.

olarak sınanabilen fiziksel nicelikleri hesaplayabilmemiz açısından kullanışlılığı, bu yöndeki becerilerimize katkısı idi. Kuantum mekaniğinin matematiği ise, o zamana kadar çözülmemiş olan bir sürü problemi çözmüştü. Hala da çözüyor. Model başarılı olduğu sürece, 'asgari' ('minimalist') yorumla yetinip, çalışmaya devam etmek lazımdı. Bu yüzden, kuantum kavramları hakkında somut canlandırmalar talep edenlere, "kapa çeneni ve hesapla" diyordu. Kendi öyle yaptı ve 1933 yılı Fizik Nobel Ödülü'nü aldı.

Bu açıdan bakıldığında kuantum mekaniği kuramının matematiği sadece, deney ve gözlemlerin, kuantum dünyasının barındırdığı olasılıklardan hangilerini çekip çıkartacağını öngörmeye yarayan bir araçtır. Kuramı kullanarak, klasik dünyayı oluşturan verilere anlam verilebilir. Ancak bunun tersi; yani klasik dünya gözlemlerinden hareketle, bir bakıma geriye bakıp, kuantum dünyasına anlam vermek mümkün değildir. Klasik dünya 'gerçeklik'tir. Kuantum dünyası ise, isim verilmesi gerekirse; 'potansiyel gerçeklik'... Ancak Kopenhag yorumu, bu iki dünya arasında bir sınır koyamıyor ve kuantum dünyasının nerede bitip, klasik dünyanın nerede başladığı sorusuna yanıt veremiyordu. Kaldı ki; tanımlanabilse dahi, bu sınır yapay görünüyordu. Çünkü, her biri birer kuantum sistemi oluşturan parçacıklardan oluşan makroskopik nesnelere de birer kuantum sistemi oluşturması mümkündü; "neden olmasın?..." İtirazlar çoğaldı: "Eğer herhangi bir fizik kuramının deneyimler dünyamız için sadece bir model olduğunu kabullenirsek, 'doğru kuram'ı bulabilmek ümidini tümüyle terketmemiz gerekir; çünkü deneyimlerin tümüne erişmemiz imkanı yok"...²

Öte yandan, bileşik dalga fonksiyonunun, ölçme sırasında (ne zaman?) özgün durumlardan birine göçtüğü tezi, eleştirilerin bir diğer odak noktasını oluşturmaktaydı. Gerçi, olasılık dağılımlarının gözlem sonucunda olası değerlerden birine çökmesi, tanışık olmadığımız bir kavram değildir. Örneğin, madeni bir parayı yazı-tura atmak için fırlatıp tuttuğumuzda, elimizi açana kadar paranın yazı veya tura gelmesi olasılıkları %50-50 iken, elimizi açtığımızda, yani parayı gözlediğimizde,

bu olasılık dağılımı, para yazı çıkmışsa eğer, %100 yazı ve %0 turaya geçer. Klasik mekaniğe göre, paranın fırlatılma biçimi ve havanın sürtünmesi vb doğru olarak göz önünde bulundurulursa, sonucun yazı mı tura mı olacağını önceden hesaplayabilmek mümkündür. Ama para eğer 'kusursuzca rastgele' fırlatılırsa, varsa bunun yöntemi; o zaman söylenecek bir şey kalmaz. Fakat, 'göçme tezi' kuantum mekaniğinin matematiği açısından da sorunluydu. Çünkü, Schrödinger denkleminde göre, dalga fonksiyonu zamanla 'deterministik' ve 'yumuşak' bir şekilde, sürekliliğini koruyarak değişmek, 'evrilmek' zorundaydı. Ne de olsa diferansiyel bir denklem olduğundan; devrim ya da deprem niteliğindeki değişimleri bu matematikten türetmek mümkün değildi. O yüzden, Bohr'un 'göçme tezi' kuantum mekaniğine, matematiğinden bağımsız ve hatta bu matematiği ihlal eden, ayrı bir hipotez olarak ilave edilmişti. John von Neumann tarafından daha sonra, kuramın cebirsel betimlemesinde, göçme işlemine karşılık gelen bir 'operatör yöntemi' geliştirildi. Ama kuram bazılarına göre 'yama-

lı bir araç' haline gelmişti. Halbuki, ilke olarak, kuramın önden gitmesi gerekirdi. Hugh Everett bu düşüncelerden hareketle, 50'li yılların başlarında, bu hipoteze gereksinimi ortadan kaldıran bir yorum geliştirdi.

Everett 1930 yılında doğmuş, 1943 yılında, henüz ortaokulda iken Einstein'a bir mektup yazmıştı. "Karşı konulamaz bir kuvvetin, hareket ettiremez bir kütleyle buluşması" halinde ne olacağını sorup, yanıtını almıştı. 1953 yılında Princeton Üniversitesi'nde doktora çalışmalarına başladı. Eugene Wigner ve John Archibald Wheeler'dan kuantum mekaniği dersleri aldıktan sonra, Wheeler'ın danışmanlığında tez çalışmasına başladı. Kuantum mekaniğinin garip görünen imaları dikkatini çekmişti. Öte yandan, evren aslında karşılıklı etkileşim halindeki pek çok kuantum mekaniksel sistemden oluşuyor, yani kendisi de kuantum mekaniksel bir sistem oluşturuyordu. Hal böyle ise eğer, onun da 'evrensel bir dalga fonksiyonu'nun olması gerekirdi. Bu durumda, evrenin dalga fonksiyonu üzerinde bir gözlem yapmak için, dışına çıkmak lazımdı.

Halbuki sonlu bir evrende bu mümkün olmadığından; evren hakkında yapılabilecek herhangi bir gözlemin, dışarıdan değil, içeriden yapılabilmesi gerekiyordu. O halde, gözlemci ile aygıt; bu kuantum mekaniksel sistemin birer alt parçası olmalıydılar. Üç yıl sonra tezini tamamladığında, kuantum mekaniğinin çok farklı bir yorumunu sundu. Kabaca şöyle...

Gözlemci ve aygıtı, elektronun oluşturduğu kuantum sistemi üzerinde dışarıdan gözlem yapan ve gözlem sonucunda onu etkilemiş olacak olan klasik bir sistem değil; onunla karşılıklı etkileşim halinde olan, kuantum mekaniksel iki başka sistemdir. Böyle üçlü bir kuantum sisteminin toplam dalga fonksiyonu, alt sistemlerin dalga fonksiyonlarının (vektör) çarpımı şeklinde yazılabilir. Gözlemci ile aygıt, kendilerine ait özgün durumlardan birerinde bulunsunlar. Bu özgün durum dalga fonksiyonlarını, ölçüm aygıtı için ψ_0 , gözlemci için de ψ_C ile gösterelim. Deneyimizdeki elektronun da özgün durumlardan birinde, örneğin A konumunda bulunduğunu, yani dalga fonksiyonunun ψ_A olduğunu varsa-

Parçacığı Bulun

Klasik mekanik: Klasik mekaniğin matematiği oldukça basit: Newton'un ikinci yasası. Üzerinde F kuvveti bulunan m kütleli bir parçacığın ivmesi, kuvvetin kütleyle oranına eşittir ($a=F/m$). İvme hızın, hız da konunun zamana göre, 'türevi' de denilen değişme hızı olduğuna göre; parçacığın ivmesinden hareketle hızı, hızından hareketle de konumu hesaplanabilir. Yeter ki, başlangıç konumu ve hızı biliniyor olsun. Bu şu anlama geliyor: Diyelim $t=0$ anında parçacığın konumunu belirleyip hızını ölçtük: Bundan sonrası için, her an üzerine etkiyen kuvvetlerin, 'bileşkesi' de denilen vektör toplamından hareketle, parçacığın izleyeceği patika kesinlikle hesaplanabilir. Sonra hızdan hareketle, doğrusal momentumu vb. Açılal konum, hız ve ivme de keza, benzeri şekilde. Klasik mekanikte herşey belirlenebilir. O kadar ki, Fransız matematikçi Pierre-Simon Laplace'a göre; evreni oluşturan tüm parçacıkların şu anki konumlarıyla hızları belirlenbilse ve evrendeki tüm kuvvetler bilirse, evrenin geçmiş ve geleceği hesaplanıp gözler önüne serilebilir. Bu, klasik mekaniğin içerdiği determinizmin aştığı aşırı özgüvenli ve rahat zamanlardı. Meğer öyle değilmiş...

Kuantum mekaniği: Kuantum mekaniğinin matematiği ise ilginç. Parçacığın davranışı yine bir denklem, Schrödinger denkleminin tarafından belirleniyor. Denklemde, parçacığın kütle gibi özelliklerinin yanında, kuvvet yerine potansiyel var. Örneğin bir elektromanyetik alandaki elektron için; elektrik alanın skaler, manyetik alanın vektör potansiyeli. Denklem zamanından bağımsız çözümleri, sözkonusu potansiyelin, parçacığın bulunmasına izin verdiği 'özgün durum'ları veriyor. Özgün durumlardan her biri, aslında birer olasılık dağılımı. Bu dağılımlardan herhangi birinin zamanla nasıl değiştiğini ise, Schrödinger denkleminin zamana bağlı şekli yönetiyor. Parçacık bu özgün durumlardan birinde olduğunda, fiziksel değişkenlerinin değerleri, o özgün duruma ait olasılık dağılımı tarafından belirlenmekte. Değişkenlerden, örneğin konum gibi bazıları, sürekli değerler alabiliyor. Ki bu durumda, belli bir özgün durumun olasılık dağılımı, parçacığın çeşitli konumlarda bulunması olasılığını vermekte. Spin, enerji ve momentum gibi fiziksel değişkenler ise, bazen kesintili değerler almak zorunda. Örneğin bir manyetik alan içerisindeki elektronun spininin, alan yönündeki bileşeninin, sadece alana paralel ya da zıt yönde olabilmesinde olduğu gibi. Bu tür değişkenler için, özgün durumların her biri, kesin bir 'özde-

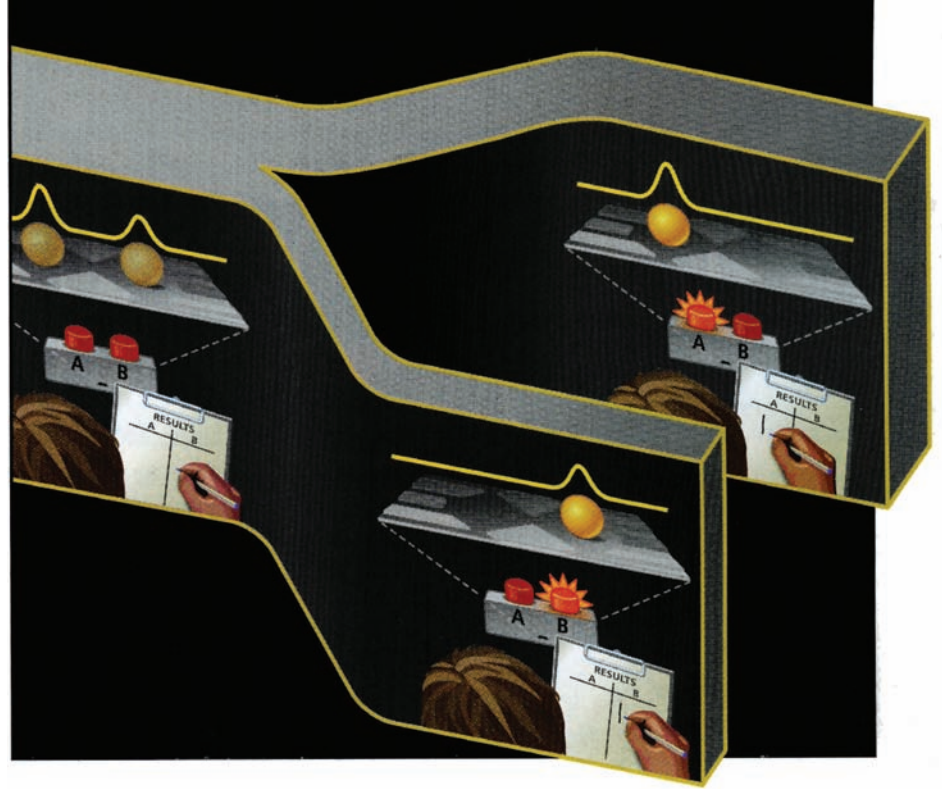
ğer'e sahip. Özgün durum zamanla değişiyor olsa dahi, sahip olduğu özdeğer değişmiyor. Öyle ki, örneğin elektronun manyetik alan yönündeki spin bileşenini bir kez ölçüp de 'yukarı' yönde bulmuşsak eğer, bundan sonra; elektron dış dünyaya ile etkileşmediği sürece; tekrar tekrar ölçtüğümüzde, spini hep 'yukarı' buluyoruz. Bu raya kadar sorun yok...

Fakat parçacık bazen, özgün durumlardan birinde veya diğerinde değil de, bunların bir karışımından oluşan bir durumda bulunabiliyor. Bu durumda, parçacığın davranışını betimleyen dalga fonksiyonu; özgün durum fonksiyonlarının, katkılı paylarını temsil eden katsayılarla ('genlik') çarpılıp toplanmasıyla elde edilen bir 'bileşimi' şeklinde. Bu 'bileşik durum'un zamanla değişimi, yine Schrödinger denkleminin tarafından belirlenmekte. Denklem doğrusal olduğundan, değişimin kuralı oldukça basit. Şöyle ki; toplam dalga fonksiyonuna katkıda bulunan özgün durum fonksiyonları, tek başlarına olsalardı zamanla nasıl değişecek idiyse, birleşimin içinde de öyle değişiyorlar; yani aralarında etkileşmiyorlar ve her an için, genlikleriyle çarpımlarının toplamı, o anki toplam dalga fonksiyonunu veriyor. Kısacası; kuantum mekaniği parçacıkların durumlarını, dalga fonksiyonu denilen matematiksel niceliklerle betimler.

yalım. Üçlü sistemin toplam dalga fonksiyonu $\varphi_T = \varphi_A \cdot \varphi_B \cdot \varphi_C$ olur. Bu durumda, Şekil 6'da görüldüğü gibi; aygıt yalnızca A değerini gösterebilir, aygıtın A düğmesi yanar ve gözlemci, fotonlar kendisine ulaştığında, hafızasına A verisini kaydeder. Bundan böyle A verisini hatırlayacak ve gerektiğinde davranışlarını bu veriye göre düzenleyecektir. Burada bir ikilem yok. Yarılgamadığımız bu kuantum durumuna, 'klasik durum' da deniyor.

Şimdi de, ölçüm aygıtı ile gözlemcinin yine özgün durumlarından birinde, fakat elektronun bileşik kuantum durumunda olduğunu varsayalım. Bu durumda, üçlü sistemin toplam dalga fonksiyonu ikiye ayrışır. Dalga fonksiyonuyla birlikte, ölçme aygıtı ve gözlemci de ikiye ayrılmıştır. Birinci kısımda, ölçülme olasılığı %64 olan A değeri ölçülmüş ve gözlemci tarafından hafızaya kaydedilmiştir. İkinci kısımda ise, ölçülme olasılığı %36 olan B değeri ölçülmüş ve gözlemci hafızasına bu değeri kaydetmiştir. İki kuantum durumu, zamandaki yolculuklarına ayrı ayrı devam ederler. Ancak, Schrödinger denkleminin özgün durum çözümleri birbirine dik (ortogonal) olduğundan, gözlemcinin A değerini gözlemlemiş olan kopyası, B değerini gözlemlemiş olan kopyasıyla etkileşemez. Birbirlerinin bilincinde olmaları mümkün değildir, ayrılmış olan evrenin birbiriyle iletişimsiz iki dalındadırlar.

Tez bittiğinde, Wheeler öğrencisinin çalışmasını Bohr'a götürdü. Fakat Bohr sunulan görüşlere itibar etmedi. Tezi Princeton'daki jüriye, büyük oranda kısaltıp, savlarını yumuşatarak sunmak zorunda kaldılar. Everett hayal kırıklığına uğramıştı, akademik yaşamdan uzaklaştı. Savunma bakanlığında araştırmacı olarak işe girip, 'Silah Sistemlerini Değerlendirme Grubu'na katıldı. Soğuk Savaş sırasında uygulanan nükleer savunma doktrinleri, önemli oranda onun geliştirdiği algoritmalara dayanan stratejilerle geliştirildi. Daha sonra özel danışmanlık şirketleri kurup, milyoner oldu. Bu arada evlenmiş, bir oğluyla bir kızı doğmuştu. Pek mutlu olduğu söylenemezdi ama. Zincirleme sigara içen bir alkolikti. İnsanlara uzak, ailesiyle ilişkileri kopuktu. Kızı intihar



Şekil 8. Ayrışan iki kuantum durumu, zaman yolculuklarına ayrı ayrı devam ederler. Ancak, Schrödinger denkleminin özgün durum çözümleri birbirine dik (ortogonal) olduğundan, gözlemcinin A değerini gözlemlemiş olan kopyası, B değerini gözlemlemiş olan kopyasıyla etkileşemez. Birbirlerinin bilincinde olmaları mümkün değildir, ayrılmış olan evrenin birbiriyle iletişimsiz iki dalındadırlar.

girişimlerinde bulundu. 1982 yılında ki ilkinde, ağabeyi tarafından banyoda yığılmış halde bulunmuş ve hastahaneye götürülüp midesi yıkanmıştı. Kurtuldu. Eve geldiklerinde, babaları salonda oturmuş gazete okuyordu. Başını kaldırıp oğluna baktı. "Onun o kadar mutsuz olduğunu bilmiyordum" dedi. Sonra dönüp, gazetesini okumaya devam etti. Bir ay sonra, 51 yaşında iken, gece uykusunda kalp krizinden öldü. Durumu sabah ilk farkedene oğlu olmuş ve hatırladığı kadarıyla, babasına ilk kez o zaman dokunmuştu. 'Kuantum ölümsüzlüğü'ne inanıyordu. Cesedinin çöpe atılmasını vasiyet etmişti. Ama naşı yakıldı. Eşi vasiyetini daha sonra, külleriyle yerine getirdi. Kızı 1996 yılında uyku haplarıyla bir intihar girişiminde daha bulundu. Bu sefer kurtarılamadı. Bıraktığı notta, babasıyla bir başka evrende buluşmak üzere ayrıldığını yazıyordu. Ağabeyi Los Angeles'a göç etti. Halen, Eels adlı 'rock' müziği grubunun şarkı yazarı ve solisti. 2005 yılında bestelenen 'Torunların Bilmesi Gerekenler' başlıklı şarkısının sözleri, aileyi anlatıyor.

Zamanından önce doğmuş dahi bir babanın dramını...

2007'nin Temmuz ayında Oxford Üniversitesi'nde, Everett'in makalesinin 50. yıl konferansı yapıldı. Yorumu 'doğru' ise, içinde seyahat etmekte olduğumuz trende yazı tura atıp da kaybettiğimiz takdirde üzülmemize gerek yok. Çünkü, tren makasa gelip ikiye ayrılmıştır ve yandaki hatta bizden giderek uzaklaşan ikincisindeki bilinç kopyamız, elindeki paraya bakıp gülümsüyordur. Henüz yanıtlanamamış olan ve sıcak bir şekilde tartışılan soru: Gözlemci bileşik kuantum durumundaki bir sistemle etkileştiğinde, etkileşmeye kadar tek olan evren bileşik durumun barındırdığı seçeneklerin her birine doğru dallanırken, gözlemci hangi anlamda ayrılıyor; sözkonusu olasılıklara uygun şekilde kopyalanmasının fiziksel anlamı nedir?

Sahi: Fiziksel anlam neydi?...

Prof. Dr. Vural Altın

Kaynaklar:

1. *The Many Worlds of Hugh Everett*, Peter Byrne, *Scientific American*, Aralık 2007, s.98-106.
2. *The Theory of the Universal Wavefunction*, Hugh Everett III, *Manuscript* (1955).