

Parçacıklar Telepati Yaparlar mı?



Kuantum kuramına itiraz olarak öne sürülen bir düşünce deneyi uzun bir serüvenden sonra bu kuramın en güçlü kanıtlarından biri haline geldi.



Bir Telepati Gösterisi

Bir telepati gösterisine tanık olduğunuzu düşünün. İki kişi birbirlerini göremeyecek şekilde bir perdenin farklı yanlarında oturuyor. Adamlardan biri elindeki iskambil destesinden düzenli olarak kağıtlar çekiyor ve seyircilere gösteriyor. Bundan sonra da perdenin diğer yanındaki adam kağıtları doğru olarak tahmin ediyor. Bu tip bir gösteri gördüğünüzde genellikle ne yaparsınız? Olanlara fazla kafa yormayıp eğlenmeye bakmak sıkça izlenen bir yol. Bunun dışında insanlar genellikle iki değişik tepki gösterirler. Ya, bu adamların gerçekten telepatiyle haberleştiklerini ve ortada yeni bir olay olduğunu kabul edersiniz, ya da işin içinde bir hile olduğunu düşünürsünüz. Eğer bu son görüşteyseniz, bu kez hilenin nasıl yapıldığı ve nasıl gizlendiği konusunda kafa yormaya başlarsınız. Olası bir açıklama şekli olarak şöyle bir senaryo düşünülebilir: Gösteriden önce kağıtlar dizilir ve hafızası en kuvvetli olan adam kağıtları doğru sırasıyla ezberler. Gösteri başlarken de eli çabuk olan diğer adam sahnede karıştırdığı başka bir desteyi seyircilere hissettirmeden özel olarak dizilmiş desteyle değiştirir. Gösterinin devamıysa olaysız olarak (ve seyircilerin şaşkın bakışları altında) geçer. Eğer gösteriden önce

bir telepati denemesi yapacaklarını söylememişlerse hileyi gizlemeleri daha kolay olur. Bu olası açıklama şekillerinden sadece bir tanesi. Aynı gösteriyi değişik hilelerle yapmak mümkün. Sihirbazların hüneri hileyi başarılı bir şekilde gizlemelerinde yatar.

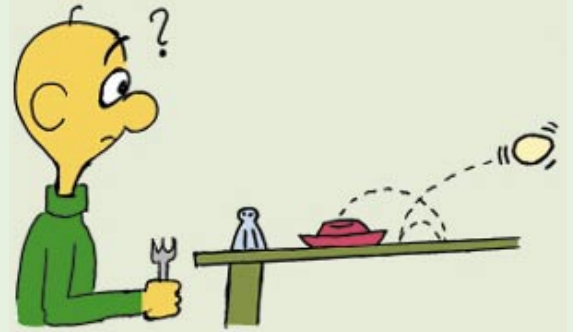
Bilimsel düşünceden nasibini almış olanlar genellikle hile alternatifine yönelirler. Bunun asıl nedeni telepati gibi bir olayın mümkün olmadığına inanılması değil, aksine bilimde sıkça uygulanan, problemlere yaklaşım şekli. Yeni bir gözlemi yeni kuramlarla açıklamaya girişmeden önce, eski kuramların o gözlemi açıklamakta tamamen başarısız kaldığından emin olmak gerekir. Eğer

eski kuramlar o gözlemi de açıklayabiliyorlarsa yeni bir kurama gerek yoktur. Örneğin kuantum kuramı, eski kuramlar atomların varlığını (ve diğer birkaç olayı) açıklamakta tamamen başarısız kaldığı için geliştirildi. Bu nedenle telepati gösterilerini önce olası bütün hile açıklamalarıyla sınamak en doğal ve en bilimsel yaklaşım şeklidir.

Peki, yukarıda anlatılan senaryoya benzer bir şekilde parçacıkların telepati yaptıklarını iddia etsek ve bunu kanıtlamaya yönelik bir deney yapsak acaba fizikçiler hangi açıklama şekline yönelirlerdi? Şaşırtıcı ama gerçek; buna çok benzer bir olay kuantum kuramının doğumu sırasında yaşandı ve adı kitaplara

Kuantum Yumurta mı, Gizli Cıvciv mi?

Bir yumurtanın beklenmedik hareketler yaptığını gören birisi yumurtanın içinde bir cıvciv olabileceğini düşünmemişse, yumurtanın olağandışı hareketinin yeni bir kuramla açıklanması gerektiğini düşünebilir. Böylece "kuantum yumurtalar kuramı" gibi karmaşık kuramlar icat etme yoluna gidebilir. Halbuki aynı gözlem yumurta içinde gizli bir cıvciv ile daha basitçe açıklanabilir. Acaba parçacıkların



hareketini açıklamak için kuantum kuramını mı yoksa alternatif bir gizli değişkenler kuramını mı kullanmak daha doğrudur? EPR deneyinin sonuçları terçihin kuantum kuramından yana olması gerektiğini söylüyor.

geçmiş pek çok ünlü fizikçi, Niels Bohr ve Albert Einstein dahil, tartışmanın karşı taraflarında yer aldılar. Bu öykünün belki de en ilginç yönü, deneylerin "hile" açıklamasını değil de "telepati" açıklamasını desteklemesi.

Kuantum Kuramı ve Belirlenimcilik

Kuantum kuramının üstüste gelme ilkesine göre herhangi bir fiziksel sistem olası durumlardan sadece birinde değil, birçoğunda birden aynı anda bulunabilir. Örneğin hidrojen atomu çevresinde dolaşan bir elektron aynı anda her yerde bulunur. Bu gibi garip durumları, bizim günlük hayatımızda tanıdık olduğumuz kavramlarla bağdaştırmak için başta Niels Bohr olmak üzere fizikçiler kuantum kuramının ölçme postülasını ortaya attılar. Bohr'a göre bu elektronun nerede olduğunu bulmak istediğimiz zaman ölçme aletimiz "bu elektron her yerdedir" gibi garip bir cevap vermez, aksine elektronun bulunduğu yerlerden bir tanesini rastgele seçer. Üstüne üstlük, ölçme işlemimiz elektronun içinde bulunduğu durumu da bozar. Aletimiz hangi konumu göstermişse, ölçümden önce her yerde olan elektron artık bu yeni konuma yerleşmiştir. Bu olaya kısaca çökme (collapse) denir.

Başta Albert Einstein olmak üzere bir çok kişi, kuantum kuramının bu garip ölçme postülasından dolayı rahatsızlık duyuyorlardı. Özellikle ölçüm sonucunun rastlantısallık içermesi, ölçmeden önce parçacık hakkında tüm bilmemiz gereken şeyi bilesek bile, ölçmenin hangi sonucu vereceğini, ve ölçümden sonra parçacığın hangi durumda bulunacağını bilemememiz bu rahatsızlığı yaratıyordu. Ölçüm sonucu, tam ölçme anında doğal olarak takip edilemeyecek bir süreç sonunda ortaya çıkıyordu. Ölçme postülasının bu şekilde belirlenimciliğe (determinizm, gereklilik) aykırı durumu, Einstein'a "Tanrı zar atmaz" dedirtmiş ve kuantum kuramı içinde çelişkiler bulmaya yöneltmişti. Einstein'ın bulduğu paradokslar ve Bohr'un bunlara ce-

Yerellik ve Nedensellik ilkeleri

Yerellik ilkesi fiziksel olayların önce yakın çevresini etkilediğini söyler. Ancak zaman geçtikçe daha uzaklardaki etkilenimler oluşur. Örnek olarak bir orman yangınına düşünelim. Yangın bir noktada başlar ve giderek yayılır. Ateş sadece hemen yanbaşındaki ağaçlara sıçrayarak dağılır ve büyür. Bir yerde başlayan bir yangının birden daha uzak mesafelerdeki bir başka yere sıçraması mümkün değildir.

Eğer bir çok noktada birden başlayan bir orman yangını varsa, olayı inceleyen bir polis, yangının bu şekilde değişik yerlere sıçrayamayacağını düşünerek başka bir alternatifine yönelecektir. Örneğin bir kundakçı çok daha önce yangın çıkarmaya karar vermiş, daha sonra ormanın değişik noktalarına teker teker giderek oralarda yeni yangınlar başlatmış olabilir. Bu mantıksal çıkarımında polis, aslında yerellik ilkesini kullanıyor. Temel bir olay, kundakçının plan yapması, hemen yanbaşındaki diğer olaylara neden oluyor (kundakçının orman içinde dolaşması).

Fizikte karşılaşılan hemen bütün kanunlar yerellik ilkesine uygundur. Newton'un ünlü yerçekimi kanunu uzun yıllar boyunca insanların aklını karıştırmış, bir cismin uzaklardaki

başka bir cisme kuvvet uygulayabilmesi bir çok kişiye anlaşılması zor bir olay olarak görülmüştü. Problemi Albert Einstein genel görelilik kuramıyla çözdü ve bu kuvvete yerel bir açıklama getirdi. Herhangi bir kütle, içinde bulunduğu uzayın eğrilmesine neden olur, ve bu eğrilme de zamanla kütlelerin çevresine yayılır. Uzaydaki bu eğilmeyi hisseden diğer cisimler de sanki kendilerine bir kuvvet uygulanmış gibi hareket ederler. Fizikte karşılaşılan benzer kanunların da yerel mekanizmalarla açıklanabileceğini biliyoruz.

Nedensellik ilkesi ise neden-sonuç ilişkisiyle bağlı iki olaydan nedenin sonuçtan önce meydana gelmesi gerektiğini söyler. Günlük yaşamımız nedensellik ilkesine aykırı olması olanaksız olaylarla dolu olduğu için bu ilke yerellik ilkesinden daha önemli. Özel görelilik kuramı ve nedensellik ilkesi hiç bir parçacığın ya da mesajın ışığın boşluktaki hızından daha hızlı yayılamayacağını söyler. Bu nedenle yerellik ilkesine aykırı olan bir çok durum aynı zamanda nedensellik ilkesine de aykırıdır.

Kuantum telepatisi bu anlamda fiziksel olaylar arasında tektir. Yani yerellik ilkesine aykırı ama nedensellik ilkesiyle uyumlu tek olay budur.

vabı bu sayıdaki başka bir yazının konusu. Buradaysa Einstein'ın Boris Podolsky ve Nathan Rosen ile 1935 yılında yayınlanan makalelerinde inceledikleri bir düşünce deneyini ve onun günümüze kadar uzanan öyküsünü anlatacağız.

Dolanık Parçacıklar

Kısaca EPR deneyi olarak adlandırılan bu düşünce deneyinde, birbirleriyle etkileşen iki parçacığın hareketlerinin bağımlı olduğu ana temasından yola çıkılır. Bazı özel durumlarda parçacıklardan biri üzerinde yapılan bir gözlem ikinci parçacığın ne yaptığı konusunda bilgi verir. Örneğin herhangi iki parçacık kütle merkezleri sabit duracak şekilde etkileşiyorlarsa, ikisinin momentumları (momentum = kütle x hız) eşit ve zıt yöndedir. Böylece parçacıkların birinin momentumu ölçüldüğünde diğerinin momentumu da belli olacaktır. Bu özellikte olan parçacıklara dolanık (entangled, korelasyonlu) parçacıklar diyoruz. Dolayısıyla dolanık iki parçacıktan birinin üzerinde hiç ölçüm yapmadan ölçüm sonucunu almak için elimizde bir yöntem var.

Birden fazla parçacığın sözkonusu olduğu bir çok fiziksel sistemde

dolanık parçacıklara rastlamak mümkün. Yukarıda verdiğimiz örnek Einstein, Podolsky ve Rosen'in tercih ettikleri deney şekli. Fakat, genellikle deney dolanık elektron spinleri ile anlatılır.

Telepati mi?

Kuantum kuramının bakış açısıyla olaylar şöyle gelişiyor: Ölçümden önce her iki parçacık bir çok farklı momentumda birden bulunur. Bu anlamda momentum belirsizdir. Birinci parçacığın momentumu ölçüldüğünde olası sonuçlardan birisi rastgele seçilir (Tanrı zarını atar), çökme dediğimiz olay gerçekleşir ve belirsizlik ortadan kalkar. Artık her iki parçacığın momentumu bellidir. Bundan sonra ikinci parçacığın momentumu ölçüldüğünde birinci ölçümle uyumlu bir sonuç verecektir.

Ölçümün sonucu ilk ölçüm yapıldığı anda belli olduğu için (daha önce değil), ve ikinci parçacık bunu o anda öğrendiği için iki parçacık arasında sonsuz hızla bir mesaj gidiyor olmalı. Bu olaya kuantum telepatisi deniyor. Parçacıklarımızı kişileştirirsek, birinci parçacık ikincisine "beni şimdi ölçtüler ve momentumumu şu şu buldular, aman senin de üzerinde bir ölçüm yaparlarsa sen de benim-

kine uyumlu bir sonuç ver, olmaz mı?" diyor gibi görünüyor.

Bu telepatinin özelliği parçacıklar arasındaki uzaklıktan bağımsız olarak sonsuz hızla iletiliyor olması. Biz parçacıklarımızı galaksimizin karşı uçlarına göndersek de, dolanıklık sürdüğü sürece, telepati sonsuz hızla gerçekleşiyor.

Acaba, bu olayı sonsuz hızla haberleşmek için kullanabilir miyiz? Örneğin iki dolanık parçacıktan birini kendimiz alalım, diğerini de haberleşmek istediğimiz bir arkadaşımıza verelim. Kendi parçacığımız üzerinde yapılan bir ölçümün anında arkadaşımızın parçacığına iletileceğini biliyoruz. Bu doğru, ama ne yazık ki yaptığımız ölçümün sonucunu seçemiyoruz. Kuantum kuramına göre ölçüm sonucu, kontrol edilemeyen bir süreç sonunda rastgele oluşur. Dolayısıyla arkadaşımıza ancak rastgele bir değer iletebiliriz. Göndermek istediğimiz mesajı kodlamamız imkansız! Doğa bu en hızlı iletişim aracını bizim kullanmamızı engelliyor.

Bu anlamda kuantum telepatisi, ışık hızının aşılamayacağını söyleyen nedensellik ilkesine aykırı değil. Garip ama gerçek.

Yoksa Hile mi?

Yine de telepati açıklaması sonsuz hızla yayılan bir etki öngördüğü için rahatsız edicidir. Bu rahatsızlığımıza bir ad vermek gerekirse buna yerellik ilkesi (locality) diyoruz. Yerellik ilkesine göre her fiziksel olay önce olduğu yeri ve yakın çevresini etkiler. Bir yangının yavaş yavaş yayılması gibi bir olayın etkileri zamanla uzak yerlere ulaşır. Nasıl bir yangın bir anda kilometrelerce uzakta bir yere sıçrayamıyorsa, herhangi bir olay da anında uzak bir yerdeki başka bir olayı etkileyemez.

Einstein'a göre, EPR deneyinde parçacıklar hile yapıyor olmalıydılar. Nasıl sihribazlarımız hangi kağıdın hangi sırada çıkacağını önceden belirlemişlerse, parçacıklarımız üzerinde yapılacak ölçümün sonucu da önceden bellidir. Birinci parçacık üzerinde yapılan ölçümde Tanrı zar atmaz, bu olayda rastlantısal herhangi bir şey yoktur. İkinci parçacık için

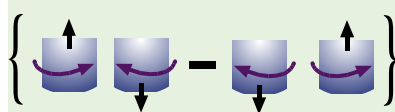
de aynı şey geçerli. Böylece parçacıklar rastgele belirlenen bir sonucu haberleşmek yerine, daha önceden karar verilen bir sonucu deneyciye verirler. Deneycinin problemi, ölçümü yapmadan önce hangi sonucun geleceğini bilmemesindedir. Kısaca belirsizliğin suçu deneycidedir. Böylece, Einstein'ın karşı olduğu, kuantum kuramındaki belirlenimciliğe aykırılık da ortadan kalkar.

Gizli Değişken Kuramları

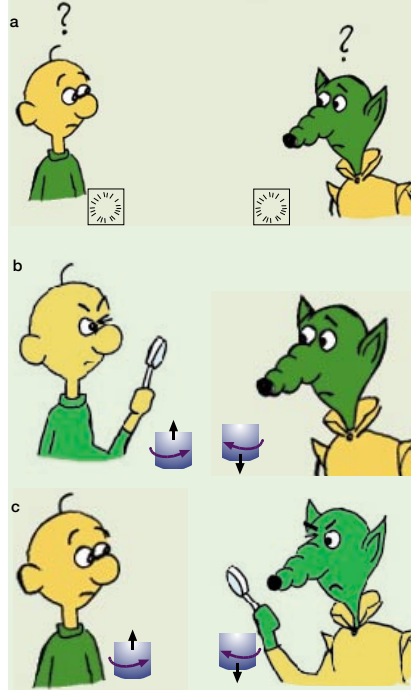
Eğer hile açıklaması geçerliyse, parçacıkların bilinmeyen bir "özelliği" yapılacak her türlü gözlemde hangi sonucun çıkması gerektiğini söylüyor olmalı. Deneyci, bu özellikten habersiz olduğu için, deneyin sonuçları ona rastlantısal gelebilir. Öyleyse, bir şekilde bu yeni "özellik" ve kuantum kuramının kullandığı dalga fonksiyonu birleştirilmeli ve

yeni bir kuram oluşturulmalıdır. Einstein bu nedenle kuantum kuramının "tam" olmadığını, bu yeni "özelliği" de içerecek şekilde genişletilmesi gerektiğini ve EPR deneyinin bunu göz önüne serdiğini söylüyordu. Bu tip yeni kuramlara "gizli değişken kuramları" deniyor. Tıpkı gizli hileler gibi, gizli değişkenler gösteriyi başarıyla götürüyor, varlıklarını da başarıyla gizleyerek bizleri şaşırtıyor olmalıydı.

Eğer 30'lu yıllarda bu açıklamayı tercih ediyorsaydınız, çözmeniz gereken bir kaç önemli pürüz vardı. Gizli değişkenler kuramı yeni bir düşünce değildi, fakat o zamana kadar kimse somut bir kuram ortaya atamamıştı. İkinci bir pürüz olarak, kuantum kuramı yapılan bütün deneysel testleri başarıyla geçiyor, öngörülleri bir bir doğrulanıyordu. Bu nedenle bir gizli değişkenler kuramı kurmak isteyen birisi, yeni kuramın kuantum kuramıyla aynı sonuçları vermesine özen göstermeliydi.



Dolanık spinler: Ya birinci elektron yukarı spine sahip ve ikincinin spini ters yönde, ya da birinci elektron aşağı spine sahip ve ikincinin spini yine ters yönde. Elektronlar Ali ve Borg'a gönderildiğinde Ali soldaki elektronu, Borg sağdaki elektronu alacak. Kuantum kuramına göre yukarıda çizilen resim dönme eksenini değişik seçilse de aynıdır. Bu durumda birinci elektronun spininin yönü belirlendiğinde ikinci elektronun spini de belirlenmiş olacaktır.



Kuantum kuramına göre EPR deneyi

Dolanık spinlere sahip iki elektron birbirlerinden oldukça uzaklaştırılmıştır. Elektronlardan biri Dünya'da bulunan Ali'ye, öbürü en az 4 ışık yılı uzaklıkta bulunan uzaylı dostumuz Borg'a gönderilir.

a) Her iki elektron %50-%50 olasılıkla yukarı ve aşağı durumlarda bulunur. Herhangi bir elektron üzerinde yapılacak ölçüm bu sonuçlardan herhangi birini eşit olasılıkla verecektir. Elektronlar hangi spinlere sahip olduklarını bilmediklerine göre, Ali de, Borg da spinlerin ne olduğunu bilmiyorlar.

b) Ali kendi elektronunun spinini ölçer, elektronların durumu çökme yaşar ve Ali spinin yukarı

yönde olduğunu görür. Borg'un elektronu artık aşağı spine sahiptir. Ali'nin ölçümünün sonucu sonsuz hızla Borg'un elektronuna iletilmiştir. Ama Borg hala kendi elektronunun hangi spine sahip olduğunu bilmemektedir. (Not: Spin ölçümleri, karikatürde gösterdiği gibi büyütle değil, Stern-Gerlach aygıtı ile yapılır.)

c) Borg kendi elektronunun spinini ölçer ve aşağı olduğunu görür. Böylece Borg, Ali'nin yaptığı ölçümde yukarı sonucunu elde ettiğinden emin olur.

d) Gizli değişken kuramlarına göre EPR deneyinin yorumu tamamen farklı. Ali ve Borg'un önünde spinleri henüz ölçülmemiş iki elektron vardır. Ali ve Borg sonucu bilmemekte ama Ali'nin elektronu yukarı spinde, Borg'un elektronu aşağı spindedir. Ali ve Borg'un yaptıkları spin ölçümü sadece kendi bilgisizliklerini giderir. Elektronlar arasında herhangi bir telepati olmaz.

Bu da bir başka problem yaratıyordu. Böyle bir kuram oluşturabilmeniz bile, her iki kuram aynı deneysel sonuçları verdiği için hangisinin doğru olduğunu anlamak mümkün değil. Yani telepati mi yoksa gizli hile mi sorusuna cevap bulunamaz. Fakat en azından rahatsızlığımızı gidermek için bu yeni kuramlarla ilgileniliyordu.

Gizli değişkenler kuramının önündeki en önemli pürüzse, John von Neumann adındaki ünlü matematikçi-fizikçinin ispatladığı küçük bir teoremdi. Kuantum kuramının matematiksel temellerini kuran von Neumann'ın küçük teoremi "herhangi bir gizli değişken kuramı kuantum kuramıyla aynı deney sonuçlarını veremez" diyordu. Bir başka deyişle bir gizli değişkenler kuramı oluşturulamazdı. Büyük ölçüde von Neumann'ın ispatı nedeniyle gizli değişken kuramları bir süre rafa kaldırıldı. Parçacıkların telepati yaptığı düşüncesi, ne kadar rahatsızlık verse de, yerleşmeye başladı.

İmkansız başarmak David Bohm gibi inatçı bir fizikçiye düştü. 1952 yılında yazdığı makalede, şimdilerde Bohm'un kuramı olarak adlandırılan bir gizli değişkenler kuramını açıklıyor ve kuantum kuramıyla aynı sonuçları verdiğini söylüyordu. Yukarıda bahsettiğimiz pürüzler bir anda ortadan kalkmıştı artık. Bohm'un böyle bir kuramı nasıl oluşturabildiğini inceleyen John Bell, von Neumann'ın ispatındaki hatayı, 20 yıldır gözden kaçan yanlış bir varsayımı, yakaladı.

"Hile mi Telepati mi?" Sorusu Yanıtlanabilir mi?

Artık hile alternatifini matematiksel olarak mümkün olduğu için kuantum kuramının garip kavramlarının terk edilip, gizli değişkenler gibi daha mantıklı kuramlarının tercih edilmeye başlanması beklenebilirdi. Örneğin Bohm'un kuramı kuantum kuramının yerine geçebilirdi. John Bell bundan emin olmak için Bohm'un kuramını matematiksel

Elektron Spinleriyle EPR Deneyi

EPR deneyi anlaşılması daha kolay olduğu için elektronların spinleriyle anlatılır. Elektronları küçük ama sonlu kürecikler olarak düşünürseniz bu kürelerin kendi çevrelerinde dönme hareketine spin deniyor. Aslında kuantum kuramı elektronlar gibi bazı parçacıkların spinlerinin bildiğimiz anlamda bir dönme hareketinden kaynaklanmadığını söylüyor. Ama bu küçük detay dışında elektron spinlerini bu şekilde algılamakta büyük bir sakınca yok. Eğer bir cismin dönme yönü sağ elin başparmak dışındaki dört parmağın gösterdiği yönde ise spinin yönü başparmak yönünde olarak tanımlanır.

Elektron spinlerinin ölçümleri sonucunda, spinin kuantumlaştığı ve sadece iki değer alabildiği biliniyor. Bir eksen doğrultusunda spin ölçülürse sonuç ya o eksen yönünde (yukarı spin) ya da tam ters yönde (aşağı spin) bulunuyor. Kuantum kuramına göre, bir elektron sadece yukarı spinde, ya da sadece aşağı spinde bulunmaz, bu iki spin değerinin üstüste geldiği durumlarda da bulunabilir. Tabi her ölçüm sonucunda spinin değeri uygun olasılıklarla ya yukarı ya da aşağı çıkar.

İki elektronun spinlerinin dolanık olduğu şöyle bir durum düşünelim: Hem iki elektronun spinleri zıt yönde olsun, hem de her iki elektron her iki spin değerini de alabilsin. Böyle bir sistemin şekilde gösterildiği gibi iki farklı durumun üstüste gelmesiyle oluşturulabilir. Ya, birinci elektron yukarı spinde ve ikinci elektron aşağı spinindedir; ya da birinci elektron aşağı spinde ve ikincisi yukarı spinindedir. Bu iki durum özellikle eşit olasılıkla gelecek şekilde hazırlanır.

Yukarıdaki ifadeye bakarak, "peki spinleri bu şekilde hazırlamak zor değil mi?" diye sormanız mümkün. İşin doğrusu, bir çok atomda elektronlar kendiliğinden bu durumda bulunurlar. Örneğin helyum atomundaki spinler bu şekilde dolanıktır. Bu nedenle deneyçilerin spinleri yukarıdaki şekilde ayarlamaları zor değil. Deneyçilerin yapmaları gereken spinleri etkilemeden bu elektronları birbirlerinden yeteri kadar ayırmak.

İki dolanık elektrona sahip olduğumuz zaman, sonuçları daha çarpıcı yapmak için

iki elektronun birbirlerinden mümkün olduğu kadar uzaklaştırıyoruz. Örneğin elektronlardan biri Dünya'da, Ali'nin laboratuvarında kalabilir, diğeri de bize en yakın yıldız sistemi olan 4 ışık yılı uzaklıktaki Alfa Centauri'de yaşayan uzaylı dostumuz Borg'a gönderilebilir. Bu yolculuk elektron spinlerini etkilemediği için dolanıklık devam edecektir.

Eğer Ali ya da Borg kendi elektronlarının spinini ölçmek isterse %50-%50 olasılıkla yukarı ya da aşağı bulurlar. Her iki olasılık mümkündür. Kuantum kuramının Kopenhag yorumuna göre hangi sonucun çıkacağı ölçüm yapıldığı anda belirlenir (Tanrı zarını atar). Eğer ilk ölçmeyi Ali yaparsa ve (diyelim ki) kendi elektronunun spinini yukarı bulursa, elektronların durumu bir çökme yaşar.

Bundan sonra Borg kendi elektronunun spinini ölçmeye kalktığında %100 olasılıkla aşağı bulacaktır. Burada özellikle önemli olan nokta Ali ölçümünü yapmadan önce Borg'un her iki durumu da eşit olasılıkla gözlemleyebilme olasılığının olması. Ali'nin ölçümü Borg'un olası deney sonuçlarını etkilemiştir.

Öyleyse kuantum kuramına göre Ali'nin elektronu bir çeşit kuantum telepatisiyle Borg'un elektronuna hangi spinde olması gerektiğini bildiriyor olmalı. Sonsuz hızla giden bu mesaj sizleri de rahatsız ettiyse bu deneyin tek açıklaması bu değil.

Gizli değişken kuramları bu olaya başka bir açıklama getiriyor. Buna göre bir ölçümün sonucunun kestirilememesi sadece deneyi yapanın bilgisizliğinden doğuyor. Ali ve Borg ölçümü yapmadan önce spinlerin ne geleceği belli. Elektronlar ayrılmadan önce de bu böyleydi. Öyleyse elektronlar arasında telepatiyle haberleşme yok, sadece önceden belirlenmiş ve iyi gizlenmiş bir deney sonucu var.

1964 yılında John Bell, bu iki alternatiften hangisinin doğru olduğunun bulunabileceğini gösterdi.

Eğer Borg kendi elektronunun başka özelliklerini ölçerse (değişik eksenlerde spin gibi) ve sonuçlarını Ali'ninkilerle karşılaştırırsa bu iki alternatiften hangisinin doğru olduğu anlaşılabilir.

olarak incelemeye başladı. Gerçekten de Bohm'un kuramı EPR deneyini hile açıklamasıyla başarıyla betimleyebiliyordu.

Fakat küçük bir problem Bell'in gözünden kaçmadı. Bohm'un kuramı yerel değildi! Dolanık parçacıklarda, her parçacığın hareketi diğer parçacığın o anda ne yaptığına bağlı olarak belirleniyordu. Bir başka deyişle, Bohm'un kuramına göre EPR deneyindeki parçacıklar gerçekten hile yapıyorlar, ama bunu telepati ile yapıyorlardı! Belki bu durumu başta anlattığımız sihirbazlık gösterisine uyarlamak isteyebilirsiniz. Sihirbaz-

lar telepati gösterilerinde hile yapıyorlar ama aslında hilesiz gerçek telepati de yapabiliyorlar! Einstein'ın istediği olmuştu, ama nefret edeceği bir şekilde.

Bell bu aşamada EPR deneyini Einstein'ın istediği gibi telepatisiz hileyle açıklayabilecek yerel gizli değişken kuramlarının var olup olmadığını incelemeye başladı. Özellikle EPR deneyindeki iki parçacık üzerinde farklı özelliklerin ölçüldüğü durumları inceledi. Sonunda bu tip gözlemlerde yerel kuramların, kuantum kuramlarından farklı deneysel sonuçlar öngördüğünü buldu.



John Bell

1964 yılında yapılan bu matematiksel buluş, o zamana kadar çoğunlukla felsefi düzeyde kalan bir tartışmayı laboratuvarlara taşıdı. Bir anlamda Bell aslında von Neumann'ın yaptığı bir benzerini yapmış, kuantum kuramı ile aynı deneysel sonuçları öngören yerel gizli değişkenler kuramlarının bulunmadığını göstermişti. Ama bu her deney için geçerli olmayabilirdi. Yani bazı yerel kuramlar bir çok deney için kuantum kuramı ile aynı sonuçları öngörebilir, sadece EPR deneyi gibi o zaman henüz yapılmamış deneylerde farklı sonuçlar çıkarabilirdi. Bell'in gösterdiği, en azından EPR deneyinde iki kuramın farklı sonuçlar verdiğiydi.

Böylece laboratuvara gidilir ve yeteri kadar kesinlikte ölçüm yapılırsa hangi kuramın yanlış olduğu bulunabilirdi. Hile mi, yoksa telepati mi; ya da yerel gizli değişkenler kuramları mı, yoksa yerel olmayan kuramlar mı tartışmasına son noktayı koymak artık mümkündü.

Ve Kuantum Kuramının Zaferi

Hangi kuramın doğru olduğu konusunda deneysel testler 1970'lerden itibaren yapılmaya başlandı. İlk deneysel test, elektron-pozitron yol kolması sonucu açığa çıkan iki fotonun polarizasyonlarının (yani fotonları oluşturan elektrik alanlarının yö-



David Bohm

nünün) dolanık olduğu bilgisinden hareketle Kasday tarafından yapıldı. Kısa bir süre sonra, daha düşük enerjili fotonlarla, optik düzeneklerin kesinliği kullanılarak daha iyi sonuçlar elde edilmeye başlandı. Örneğin S.J. Freedman ve J.F. Clauser tek değil de iki fotonun birden ya-

EPR Deneyi ve Belirsizlik İlkesi

Einstein'a göre EPR deneyi ile belirsizlik ilkesini altetmek mümkündür. Örneğin kütle merkezleri hareket etmeyen etkileşen iki parçacığınız var. Bunları kısaca A ve B diye adlandıralım. Diyelim ki siz A'nın hem konumunu hem de momentumunu kesin olarak ölçmek istiyorsunuz. Kuantum kuramına göre bunun imkansız olması lazım. Yapmanız gereken ilk şey B'nin momentumunu kesin olarak ölçmek. Böylece A'nın momentumunu da bulmuş olursunuz (B'ninkiyi aynı ama zıt yönde), hem de A'ya dokunmadan. Şimdi de A'nın konumunu kesin olarak ölçersiniz. Böylece elinizde A'nın hem momentumunun hem de konumunun kesin değerleri olur.

Einstein bu olayda aslında B'nin momentumunun ölçümü esnasında A'nın etkilenmediğini varsayıyor. Böylece A üzerinde iki farklı ölçüm yaparak hakkında daha fazla bilgi edinmemiz mümkün diyor. Bohr'un tercih ettiği kuantum yorumuna göre ise, B üzerinde yapılan momentum ölçümü hem B'nin hem de A'nın durumunu değiştirir. A'nın konumunu ölçmeye çalıştığımız sırada, A artık en başta bulunduğu durumda değildir. Elde edilen sonuçlar aslında, A başka bir parçacıkla dolanık olsun ya da olmasın, A'nın önce momentumunu sonra da konumunu ölçtüğümüzde elde ettiğimizden farklıdır.

yıldıği atomik ışımalarında yine fotonların kutuplaşmalarını inceleyerek Bell'in sonuçlarını test ettiler. Bu gün bu testler, daha değişik koşullar altında daha kesin rakamsal sonuçlarla yapılmaya devam ediyor. Deneylerin gösterdiği sonuç kuantum kuramının zaferi anlamına geliyor. Yani parçacıklar hile değil telepati yapıyorlar!

Sonuç

Kuantum kuramı, en ciddi rakibini yenmiş durumda. İçerdiği bir çok kavramı, üstüste gelme ya da yereleliğe aykırı telepati gibi, anlamakta zorlanabiliriz. Ama bunlarla beraber yaşamak zorundayız. Gizli değişken kuramları hala bir alternatif olmayı sürdürüyorlar ama deneylerin gösterdiği gibi bunların kullanılan kuram üzerine büyük bir üstünlükleri kalmadı. Zira her ikisi de kuantum telepatisi düşüncesini destekliyorlar.

Teknolojik uygulama olarak dolanık parçacıklar önemli bir işlev üstlenebilirler. Eğer uzakta olan bir arkadaşınıza herkesten gizli olarak rastgele sayılar iletmek istiyorsanız, ikinizin birden dolanık iki parçacık üzerinde aynı ölçümü yapmanız yeterli. Bu problem uzun zamandan beri şifreleme sistemleri kullananları meşgul etmişti. Sağlam bir şifreleme sistemi kullanıyorsunuz ama bir şekilde bu şifreyi oluşturmak ve açmak için kullandığınız anahtarın düşmanın eline geçmiş olabileceğinden şüpheleniyorsunuz. Eskiden bu problemi çözmek için, güvendiğiniz bir adamı yeni bir anahtar ile haberelediğiniz yere göndermeniz gerekiyordu. 1970'lerde bu sorun bazı matematiksel problemlerin çözümünün zor olduğu varsayımından hareketle çözüldü. Ancak, bilgisayar teknolojisindeki hızlı değişim, böylece önceki uzun zaman alan problem çözümlerinin yeni teknolojiyle daha çabuk yapılabilmesi, bu yöntemlerin beklendiği gibi güvenilir olamayabileceği anlamına geliyor. Kuantum telepatisi bu probleme kesin cevabı bulmuş gibi görünüyor.

Sadi Turgut

Kaynaklar
Bell, J.S. *Speakable and Unspeakable in Quantum Mechanics*, Cambridge University Press, 1987
Akoğlu, A. "Kuantum İnternet", *Bilim ve Teknik*, Ağustos 2000