

Karşılgusal İletişim

Hiçbir Şey Göndermeden Bir Mesajı İletmek Mümkün müdür?

Dr. Mahir E. Ocak [TÜBİTAK Bilim ve Teknik Dergisi

Günümüzde kullanılan tüm iletişim sistemlerinde gönderici ve alıcının cihazları arasında yolculuk eden parçacıklar vardır. Bilgi, biz onları doğrudan algılayamasak bile gerçek nesnelere kodlanır ve bir yerden başka bir yere aktarılan parçacıklar aracılığıyla taşınır. Ancak son 20-30 yılda kuantum mekaniği teknolojik cihazlarda giderek daha fazla yer bulmaya başladıkça, hiçbir şey aktarmadan da bir mesajı iletmenin mümkün olup olmadığı tartışılmaya başlandı. 2013 yılında Hatim Salih isimli bir amatör fizikçi, bir grup profesyonelle iş birliği yaparak, parçacıkların hiçbir zaman bulunmadığı bir yerden bilgi edinildiği bir iletişim protokolü tasarladı.

Geçtiğimiz nisan ayında Çin Bilim ve Teknoloji Üniversitesi'nde Prof. Dr. Jian-Wei Pan önderliğinde araştırmalar yapan bir grup bilim insanı *Proceedings of the National Academy of Sciences (ABD)*'da bir makale yayımladı ve Salih'in protokolünü kullanarak bir resmi bir bilgisayara aktarmayı başardıklarını açıkladılar. Ancak tartışmalar bitmedi. Kuantum mekaniğinin gerçekte ne anlama geldiği ve nasıl yorumlanması gerektiği kuramın geliştirildiği yıllardan beri tartışma konusu. En çok tartışılan konuların arasında da bilgi teknolojilerinin temelinde yatan ölçümler ve etkileşimler var. Eğer hiçbir şey göndermeden de bilgi aktarımı yapabilen teknolojiler geliştirilebilirse tamamen güvenli bir biçimde iletişim kurmak mümkün olabilir. Bilgiyi aktaran parçacıklar yoksa, "hacklenecek" bir şey de yoktur.



Kuantum Mekanikliği ve Girişim Deneyleeri

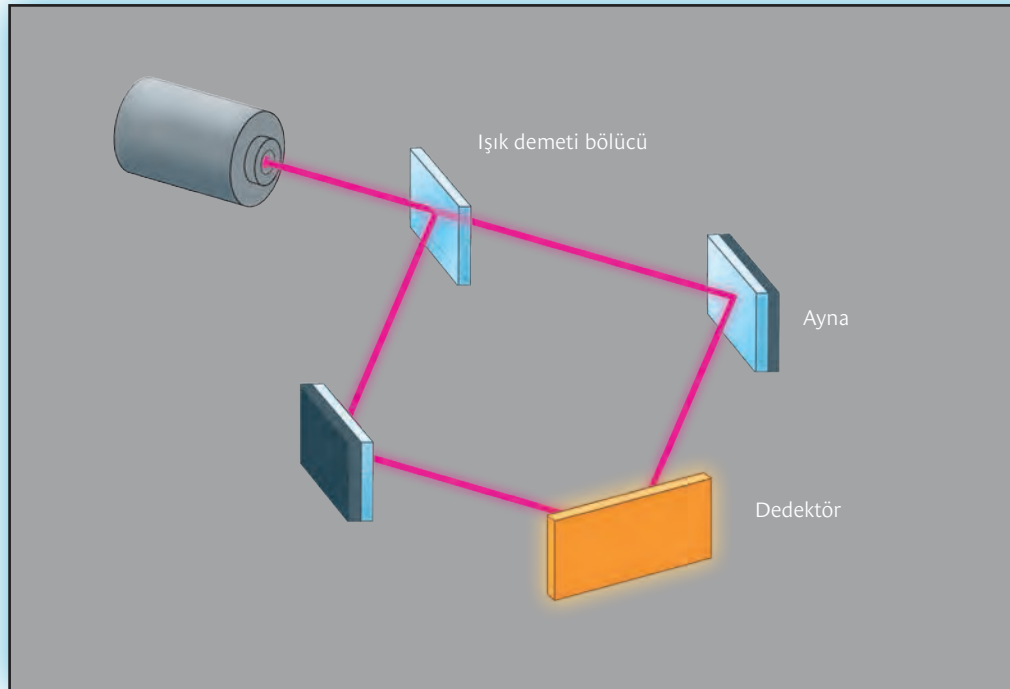
Kuantum mekaniğinde bir sistemin durumu dalga fonksiyonu olarak adlandırılan bir fonksiyonla temsil edilir. Kuramsal hesapların temelinde Schrödinger denklemi vardır. Bu denklemi kullanarak dalga fonksiyonunun zamanla nasıl değişeceği hesaplanabilir. Bir sistemin sahip olabileceği her durum ve bir ölçüm sonucunda bulunabilecek her sonuca karşılık gelen dalga fonksiyonları Schrödinger denkleminin çözümleridir. Dalga fonksiyonu, bir sistem üzerinde yapılacak ölçümlerin sonucunun ne olacağını değil hangi sonuçların hangi olasılıklarla ortaya çıkacağını söyler.

Tek yönlü bir ayna olduğunu düşünelim. Ancak sıradan aynalardaki gibi bir tarafı tamamen değil kısmen alüminyumla kaplanmış olsun. Bu aynaya 45°'lik açıyla gelen bir ışık demetinin yarısı yansıtacak yarısı da aynanın içinden geçecektir. Daha sonra sıradan aynalar (bir tarafı tamamen alüminyumla kaplanmış aynalar) kullanarak ışınları birleştirelim ve yandaki şekildeki gibi bir floresan ekranın üzerine düşürelim. Işık dalga gibi davrandığı için bir girişim deseni oluşur. Düzenekte ufak tefek oynamalar yaptığımızda (örneğin ışınların takip ettiği yolların birine bir parça cam koyduğumuzda) girişim deseninin değiştiğini gözlemleriz. Örneğin farklı yollardan gelen ışık demetlerinin yıkıcı girişim yapmasını sağlayarak ekrandaki bazı kısımların tamamen karanlık olmasını sağlamak mümkündür.

Şimdi de aynı deneyi ışık demetleriyle değil fotonlarla yaptığımızı düşünelim. Işık kaynağından çıkan bir foton, düzeneğin içinden geçer ve ekrana çarpar. Bu durumda da ekranda bir girişim deseni oluşur. Hatta ışık demetleriyle yapılan deneylerde olduğu gibi düzeneği ayarlayarak ekrandaki bazı bölgelerin tamamen karanlık kalmasını sağlamak mümkündür. Bu durumda da fotonlar dalga gibi davranır. Ancak belirli bir anda deney düzeneğinde sadece bir tane foton olduğuna göre fotonlar neyle girişim yapmaktadır?

Kuantum mekaniği hesapları, bu ve benzeri deneylerin sonuçlarını mükemmel bir biçimde açıklar. Fotonların düzeneğe tek tek gönderildiği durumu ele alalım. Schrödinger denklemi kullanılarak yapılan hesaplarda, sistemin ilk durumu kaynaktan aynaya doğru ilerleyen bir fotona karşılık gelen bir dalga fonksiyonu tarafından temsil edilir.

Foton ya ilk aynadan yansıtacak ya da aynanın içinden geçecektir. Schrödinger denkleminin her iki yola karşılık gelen bir çözümü vardır. Foton ilk aynayla etkileştikten sonra dalga fonksiyonu bu iki çözümün bir süperpozisyonuna evrilir. Bu dalga fonksiyonu, fotonun iki yoldan herhangi birinde olma ihtimalinin %50 olduğunu söyler. Hesaplara devam ederek fotonun dedektöre varacağı andaki dalga fonksiyonunu da hesaplayabilirsiniz. Bu dalga fonksiyonu, fotonun dedektörün hangi bölgesine hangi olasılıkla çarpacağını söyler. Aynı deney defalarca tekrarlandığında gözlemlenen girişim deseninin dalga fonksiyonunun verdiği olasılıklarla uyumlu olduğu görülür. Söz konusu kuantum mekaniğinin matematiksel formülasyonu olduğunda her şey kusursuzdur. Kuram tüm deneysel sonuçları mükemmel bir biçimde tahmin eder. Ancak gerçekte olup biten nedir?



Kuantum mekaniğinin standart yorumu, ölçüm sonucunun önceden bilinemeyeceğini, tamamen rastlantısal olduğunu söyler. Dalga fonksiyonu muhtemel olasılıklar hakkında bilgi verir. Ancak bulunan sonuca herhangi bir sebep atfedilemez. Ölçüm, Schrödinger denklemi kullanılarak yapılan deterministik hesapları kesintiye uğratar. Ölçümle beraber süperpozisyon yok olur. Sistemin dalga fonksiyonu, ölçüm anında bulunan sonuca karşılık gelen dalga fonksiyonuna “çöker”. Muhtemel olasılıkların biri gerçekleşir. Örneğin girişim deneyinde fotonların takip edebileceği her iki yola da birer dedektör koyduğumuzu düşünelim. Ölçümden önce dalga fonksiyonu bir süperpozisyon durumunu tanımlar. Fotonun iki rotanın herhangi birinde olma ihtimali %50’dir. Ancak foton dedektörlerden birinde kaydedildiğinde süperpozisyon yok olur. Fotonun hangi rotayı takip ettiği artık bellidir.

Eğer fotonların takip edebileceği iki yolun sadece birine dedektör konursa ortalama olarak her iki deneyden birinde dedektörde foton kaydedilecektir. Bu durumda ekranda bir girişim deseni görülmez. Hatta fotonlarla yollarına devam etmelerini engellemeden sadece takip ettikleri yolu belirlemek amacıyla etkileşildiğinde bile girişim deseni görülmez. Sistemin durumu hakkında bilgi edinildiğinde süperpozisyon yok olur. Fotonlar dalga gibi davranmayı bırakır. Hiçbir ölçümün yapılmadığı, fotonların süperpozisyon durumunda olduğu deneylerin aksine ölçüm yapılan deneylerde bir girişim deseni oluşmaz.

Karşılıksal Bilgi

Avshalom Elitzur ve Lev Vaidman 1993 yılında daha sonra başkalarının gerçeğe dönüştüreceği bir

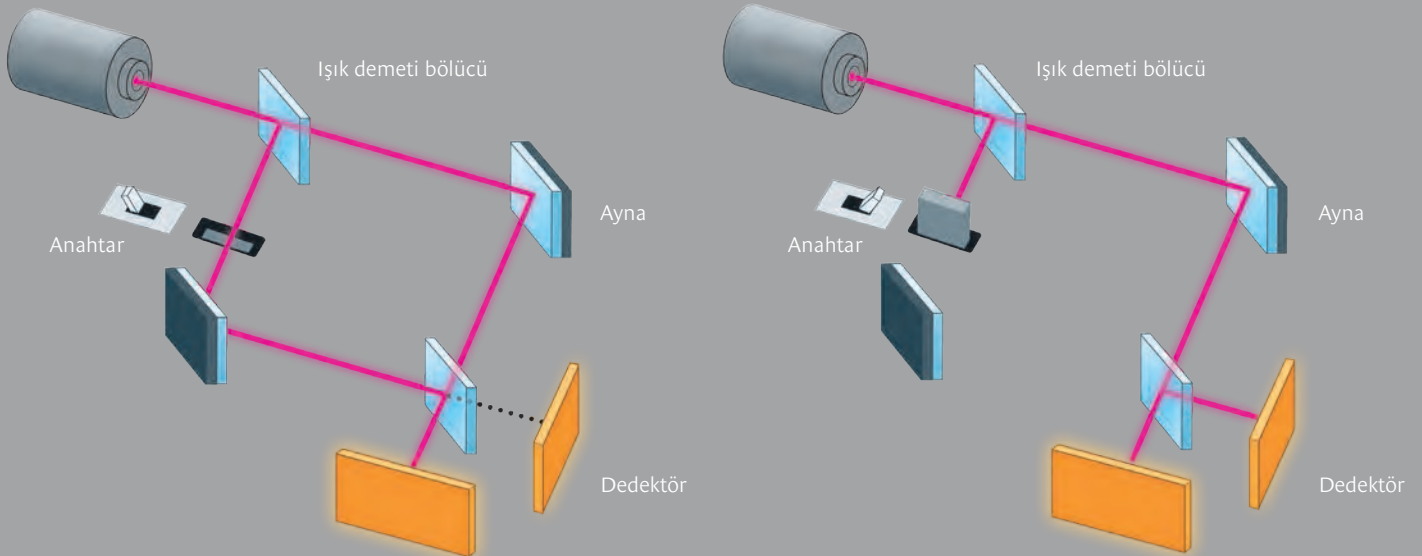


Avshalom Elitzur



Lev Vaidman

düşünce deneyi ortaya attı. Girişim deneylerindeki floresan ekranı kaldırıp, yerine fotonların takip edebileceği yolların yeniden birleşmesini sağlayan bir ışık demeti ayırıcısı koyduğumuzu düşünelim. Fotonların bu ışık demeti ayırıcısından sonra takip edebileceği iki muhtemel yola da dedektörler koyalım. Fotonların her iki dedektöre varma olasılığı eşit olsun. İki yolun birine cam levha koyalım. Öyle ki dedektörlerden birinde tamamen yıkıcı girişim olsun. Bu durumda fotonlar her zaman yıkıcı girişim olmayan dedektörde kaydedilecek, diğer dedektördeyse hiç foton kaydedilmeyecektir.





Şimdi de cam levhayı fotonların geçmesine izin vermeyen bir engelle değiştirdiğimizi düşünelim. Fotonların yarısı engel tarafından soğurulur. Engel olmayan yolu takip eden fotonlaransa yine sadece bir dedektörde kaydedileceğini düşünebilirsiniz. Ancak öyle olmaz. Diğer yoldaki engel süperpozisyonun yok olmasına neden olur. Böylece dedektörlerin birindeki yıkıcı girişim ortadan kalkar. Işık demeti bölücüden geçen fotonlar her iki dedektörde de eşit olasılıkla kaydedilir. Bu durumda süperpozisyonun yok olmasının nedeninin engelin “ölçüm yapması” olduğunu söyleyebiliriz. Söz konusu fizik olduğunda bilinçli ve bilinçsiz varlıklar arasında bir ayırım yapmak gerekmez. Engelin fotonları soğurması ya da soğurmaması fotonların

takip ettiği rotalar hakkında bilgi verir ve böylece süperpozisyonun yok olmasına neden olur. Dolayısıyla fotonların sadece bir ekranda mı yoksa her iki ekranda da mı kaydedildiğine bakarak bir ölçüm yapıp yapılmadığını yani yolların herhangi birinde bir engel olup olmadığını anlayabiliriz. Üstelik engelin varlığını anlamamızı sağlayan fotonların hiçbiri engelle etkileşmez. Ancak diğer yolda bir engel olduğunu bir şekilde bilir. Engelin varlığı, hiçbir etkileşim olmasa bile ölçüm yapmak ve fotonlarla deneycilere bilgi aktarmak için yeterlidir. Hologramları geliştiren Dennis Gabor, “Her gözlem için bir foton gereklidir. Ancak bir nesneyi açığa çıkarmak için fotonun ona çarpması gerekmez. Bakmadan da görebiliriz.” demişti.

Elitzur ve Vaidman, hiçbir etkileşim olmadan da bir nesnenin varlığı hakkında çıkarım yapılabilmesini, “etkileşimsiz ölçüm” olarak tanımlamıştı. Roger Penrose ise araştırmacıların kavrayışının “karşılıksız” olduğunu söyledi. Ancak Elitzur ve Vaidman’ın düşünce deneyi gözlemsel verilerle uyumsuz değildir. Evert du Marchie van Voorthuysen 1995 yılında Gröningen’de düzenlenen bir bilim fuarında seyircilerin gözleri önünde etkileşimsiz ölçümler yaptı. Bu deneylerde elde edilen sonuçların tamamı kuantum mekaniğinin matematiksel formülasyonuyla uyumlu. Ancak sonuçların nasıl açıklanacağı hâlâ tartışma konusu.

Deneylerde, bir engel olduğu her durumda fotonlar her iki dedektörde de kaydedilmeye başlanıyor.

Dolayısıyla fotonların sadece bir dedektörde mi yoksa her iki dedektörde de mi kaydedildiğine bakılarak düzenekte bir engel olup olmadığı anlaşılabilir. Bu deneylerde fotonlar %50 ihtimalle engelle etkileşmediği için bilgi aktarımının %50'si olgusal, %50'si karşıolgusal olarak gerçekleşiyor. Peki, karşıolgusal olarak aktarılan bilgi oranını artırmak mümkün müdür? Mark Kasevich ve Paul Kwiat 1994 yılında bu soruyu ele alıp mantık yürütmeye başladı. Eğer bir engel %50 ihtimalle etkileşimsiz bilgi aktarabiliyorsa daha çok engel daha yüksek oranda etkileşimsiz bilgi aktarmalıydı. Hatta sonsuz sayıda engel kullanılabilseydi bilgi aktarımının tamamını karşıolgusal yapmak mümkün olurdu. Araştırmacılar, kendi tasarladıkları düzeneklerdeki engel sayısını altına çıkararak etkileşimsiz ölçümlerin oranını %70'e yükseltmeyi başardı.

İlk deneylerin yapılmasından sonraki 25 yılda karşıolgusal bilgi aktarımı çok çeşitli araştırmalarda kullanıldı. 1998 yılında Kwiat ve çalışma arkadaşları bir girişimölçerin içindeki, hiç ışık geçmeyen bir yere konmuş insan saçlarını fotoğrafladı. İki yıl sonra Graeme Mitchison ve Richard Jozsa, bir bilgisayarın hiç etkileşim olmadan da hesaplamalar yapabileceğini gösterdi. 2006'da Onur Hosten, Paul Kwiat ve arkadaşları "çalışmadan" da bilgi aktarabilecek bir bilgisayar tasarladı. Araştırmacılar bunun sadece "çalışma" ve "çalışmama" durumlarının süperpozisyonunda olabilecek bir kuantum bilgisayar için mümkün olduğunu söyledi. 2009'da Tae-Gon Noh, şifreli metinleri çözmek için gerekli "anah-

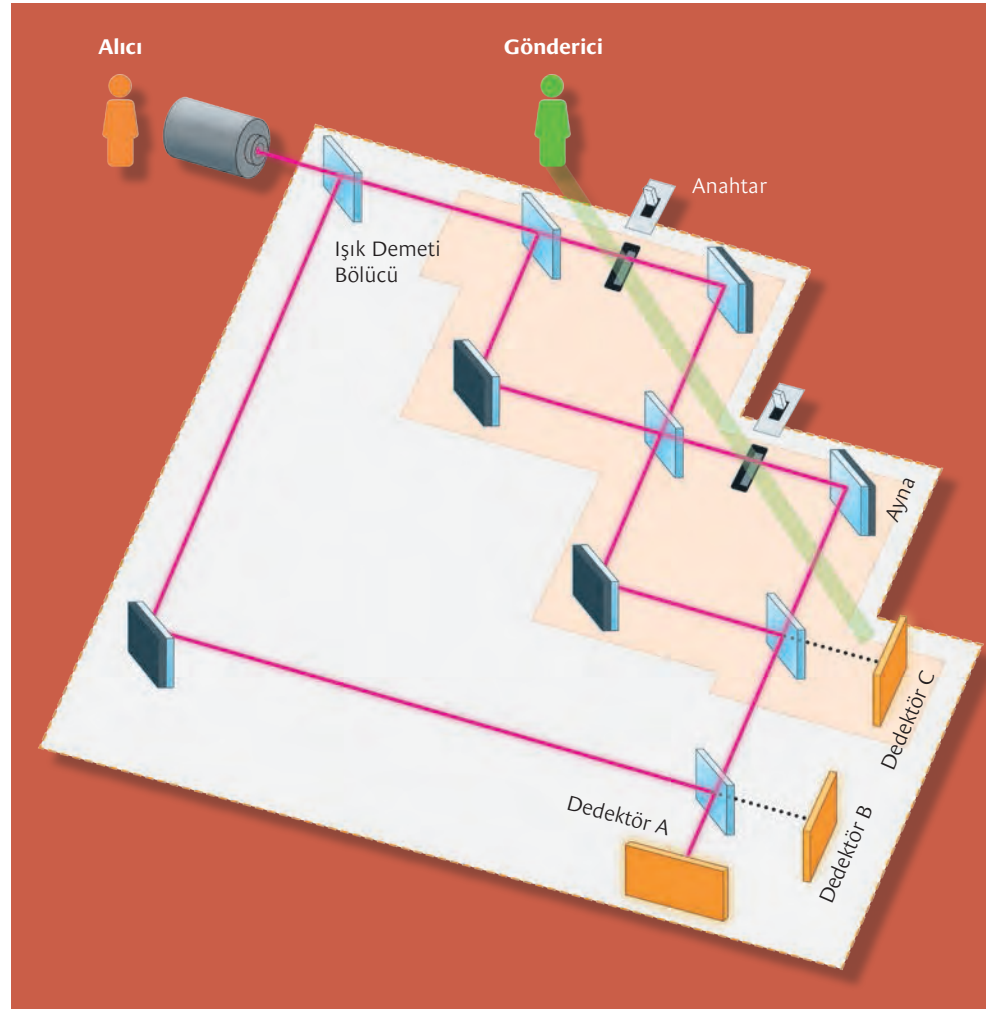
tarları" aktarmak için bir protokol geliştirdi. Üstelik her şey göndericinin cihazının içinde olup bittiğinden üçüncü kişilerin araya girip anahtar çalma ihtimali de yoktu. Hatta bir dinleyicinin "suç işleme ihtimali" bile dinleyicinin varlığını ortaya çıkarmaya yeterliydi. 2011'de Pan ve arkadaşları bu protokolü kullanarak bir gizli anahtar fiber optik kablolar üzerinden saniyede 51 bit hızla bir kilometre öteye aktarmayı başardı. Ancak aktarılan verilerin doğruluk oranı pratik uygulamalar için yeterli değildi. Yine de bilginin "bir kısmının" parçacıklar göndermeden de aktarılabilceği gösterilmiş oldu.

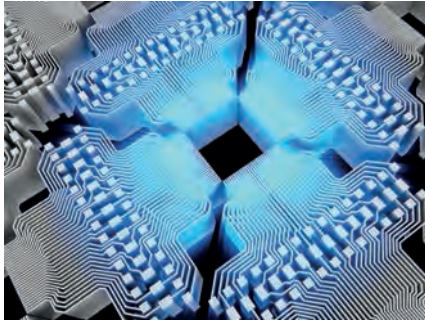
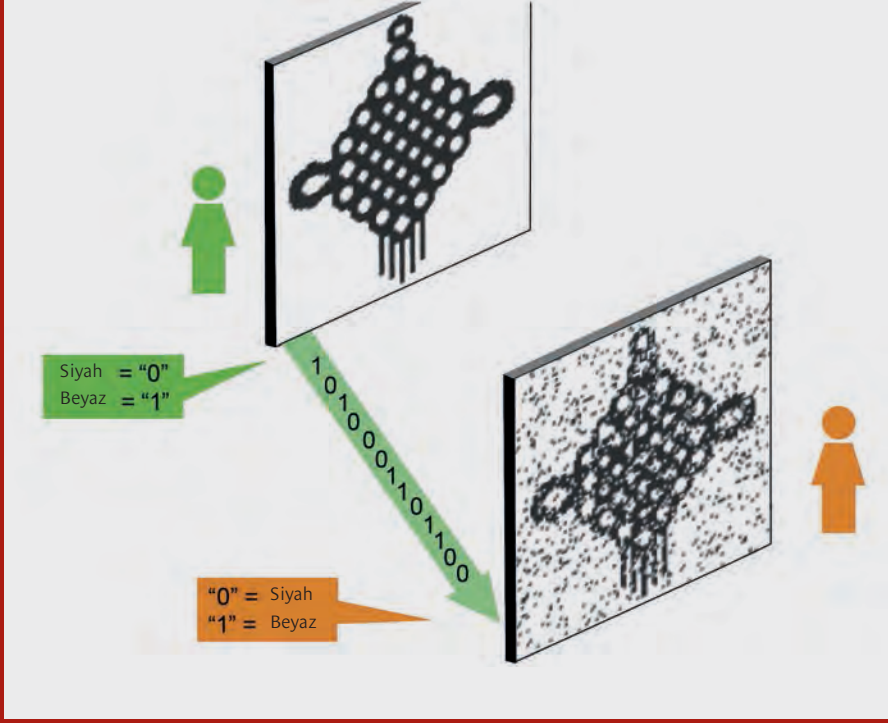


Mark Kasevich



Paul Kwiat





Karşılığusal İletişim

Hatim Salih ve çalışma arkadaşları 2010'ların başlarında bilginin "bir kısmının" karşılığusal olarak aktarıldığı bir protokol geliştirdi. Çok sayıda girişimölçerin art arda eklendiği düzenekte herhangi bir engel olmadığında fotonlar her zaman aynı dedektörde kaydediliyor ve gönderici düzenekteki engelleri kontrol ederek bilgi aktarabiliyordu.

Geliştirilen protokole gönderici "0" göndermek istediğinde düzenekteki tüm engelleri kaldırıyor ve fotonlar birinci dedektörde kaydediliyordu. "1" göndermek içinse engeller ortaya çıkarılıyor ve fotonlar "büyük olasılıkla" ikinci dedektörde kaydediliyordu. Bu protokol sadece "0"ları tamamen güvenli bir biçimde aktarıyor, ancak düzenekte engeller varken bazı fotonların düşük olasılıkla da olsa birinci dedektörde kaydedilmesi bazı "1"lerin hatalı aktarılmasına neden oluyordu.

Araştırmacılar daha sonra hiç kimsenin denemediği bir şey üzerinde çalışmaya başladı: tüm bitleri (hem 0'ları hem de 1'leri) karşılığusal olarak aktarmak. Tasarladıkları düzenekün bir örneğini üstte görüyorsunuz. Çok sayıda küçük girişimölçerin art arda büyük bir

girişimölçerin içine yerleştirildiği bu düzeneklerdeki engeller, etkileşimsiz olarak fotonların takip ettiği rotalar hakkında ölçüm yapacak, etkileşimsiz ölçümlerin sayısı arttıkça bilgi aktarımının verimliliği artacaktı. Bu düzeneklerde engeller olduğunda fotonlar hiçbir zaman engellerin olduğu yollara girmiyor. Dolayısıyla fotonlar her durumda engellerle etkileşmeden dedektörlere ulaşıyor. Ancak engellerin var olup olmasına bağlı olarak dedektörlerdeki kayıtlar değişiyor. Böylece gönderici, sadece engelleri kontrol ederek, bilgiyi hiçbir etkileşim olmadan da tamamen karşılığusal biçimde aktarabiliyor. Araştırmacılar laboratuvar ortamında bile gerçeğe dönüştürülmesi çok zor olan bu tasarımı daha sonra basitleştirdiler.



Prof. Dr. Jian-Wei Pan ve öğrencileri

Yakın zamanlara kadar karşılığusal iletişimle ilgili tüm çalışmalar kuramsal olarak kalmış, öne sürülen düşünceler deneysel olarak doğrulanmamıştı. Jian-Wei Pan ve öğrencileri, karşılığusal iletişimle ilgili ilk deneysel sonuçları geçtiğimiz nisan ayında yayımladı. Makalede anlatılan deneyler esasen birkaç sene önce yapılmıştı. Ancak, araştırmacılar deneyler hakkındaki makaleyi yayımlamadan önce üç yıl bekleyip sonuçlar hakkında uzun uzun düşünmeyi tercih etmiş. *Proceedings of the National Academy of Sciences (ABD)*'da yayımlanan makalede bir "Çin düğümü"nin görüntüsünün laboratuvar ortamında 0,5 m öteye karşılığusal olarak aktarılması detaylı biçimde anlatıyor. İnsan müdahalesi olmadan her şeyin özel bir yazılım kullanılarak yapıldığı deneyler

sırasında 10 kilobit bilginin aktarılması beş saatten uzun sürmüştü. Bazı bitlerin tekrar tekrar gönderilmesi gerekmişti. Bilgisayarın "1"leri algılamakta "0"ları algılamaktan daha başarılı olduğu belirtiliyor. Aktarılan görüntüde bazı hatalar olsa da deneylerin başarılı olduğu söylenebilir.

Karşılığusal iletişimden, gizliliğin önemli olduğu herhangi bir alanda yararlanmak mümkün. Ancak karşılığusal olarak aktarılan bilgi oranı arttıkça bilginin aktarılma hızı düşüyor. İletişim, bilgi parçacıklarla aktarıldığı durumda çok daha hızlı gerçekleşiyor.

Kuantum mekaniğinin geliştirildiği ilk yıllardan beri dalga fonksiyonunun aslında ne olduğu tartışma konusudur. Schrödinger, dalga fonksiyonunun bir fiziksel gerçekliğe karşılık geldiğini düşünüyordu.

Ancak bugünkü yaygın kanı, dalga fonksiyonunun sadece hesaplarda kullanılan soyut bir matematiksel kavram olduğudur. Pan ve çalışma arkadaşları, karşılığusal bilgi aktarımının dalga fonksiyonunun gerçekliğini desteklediğini düşünüyor. Eğer fiziksel parçacıklar olmadan da bilgi aktarılabilirse, bilgiyi aktaran şey muhtemelen dalga fonksiyonu olmalıdır. ■

Kaynak

Roebke, J., "Nil communication: how to send a message without sending anything at all", *Scientific American*,

<https://www.scientificamerican.com/article/nil-communication-how-to-send-a-message-without-sending-anything-at-all/>, 27 Haziran 2017.