

Delili dolu kuantum davulu

Fizikçiler gözle görülebilir boyutlarda bir zarın aynı anda hem sessiz kalacağını hem de titreşebileceğini gösterdi. 2010'un en önemli buluşu, içi içine sığmayan kuantum davulu yeni nesil bilişim teknolojisinin ilk adımı olacak.

Aziz Kolkıran

Ilk bakışta kuantum dünyası ile klasik dünya birbirine çok uzak. Kuantum dünyasında elektronlar bir odadan başka odaya tünelleme yoluyla geçer ama klasik dünyada duvara çarpan bir tenis topunun duvarın arkasında belirmediğini göremeyiz. Elektronlar dalgalı doğaları nedeniyle iki yarıktan aynı anda geçerek kendine karşır; oysa gündelik yaşamda, örneğin cebimizdeki

bozuk paraların böyle karışması, olmadık yerde karşımıza çıkması mümkün değil. Tam bu noktada önemli bir soru geliyor: Bir kuantum sistemi acaba ne zaman klasik dünyada geçerli fizik kanunlarına göre davranır? Başka türlü soralım: Bize göre normal boyutlarda mekanik bir sistem hangi koşullarda aynı anda birden fazla konumda bulunur?

1920'de Niels Bohr "karşılık gelme ilkesi"nin öngördüğü "karşılık gelme sınırı"na ulaşıldığında bir kuantum sistemin klasik mekanik kanunlarına (Newton kanunları) göre davranmaya başlayacağını öne sürdü. "Karşılık gelme ilkesi" yeni bir kuramın, bir önceki kuramın geçerli olduğu ölçekte verdiği sonuçlara ulaşabilmesinin mümkün olduğunu öngörür. Bu sınır, sistemi tanımlayan

kuantum sayılarının çok yüksek olduğu durumda geçerli. Buradaki “çok yüksek” durumunun neye karşılık geldiği uzun yıllar tam olarak çözülmedi.

Aslında karşılık gelme ilkesine daha dikkatli bakıldığında, kuantum mekaniğinin klasik mekaniğin öngördüğü sonuçları tam olarak veremeyeceği Bohr tarafından dile getirildi. Buna göre, gündelik yaşamdaki klasik sistemler klasik mekanik kanunlarına, atom boyutunda çok küçük sistemler kuantum mekaniğinin getirdiği ilkelere göre işliyor. Bu iki dünya arasında bir sınır var gibi. Mart 2010’da bu sınırı yeniden tanımlayabilecek bir çalışmada Santa Barbara’daki California Üniversitesi’nden bir grup, gözle görülebilir büyüklükteki bir sistemin kuantum mekaniğinin ilkelerine göre tanımlanıp kontrol edilebileceğini gösterdi. Büyüklüğü itibarıyla bu sistem, bugüne dek yapılan en büyük kuantum makinesi.

Klasik bir sistemin kuantum davranışı sergilemesi için standart yöntem, sistemi en düşük enerji düzeyine getirmeye dek soğutmaktır. Klasik fiziğe göre en düşük enerji düzeyi mutlak sıfıra karşılık gelir. Bu noktada sistemin toplam kinetik (hareket) enerjisi sıfırdır; hiçbir hareket söz konusu değildir. Oysa kuantum mekaniğinde, Heisenberg belirsizlik ilkesinden dolayı mutlak sıfırda bile hareket vardır ve sistem, sıfır enerji ile tek kuantum enerjili durum arasında aynı anda bulunabilir. (Bkz. *NTVBLM*, Kasım 2010, sayfa 40).

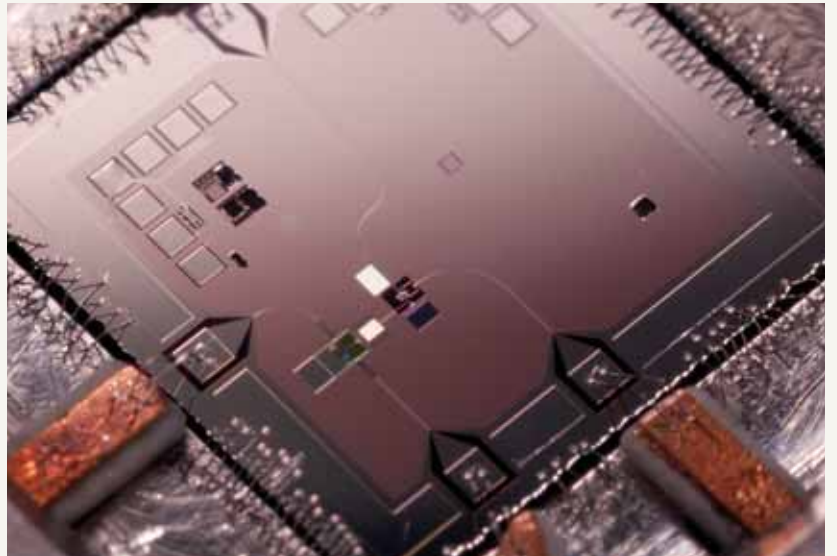
Örnek verelim: Bir ucundan sabitlenen, saniyede 1000 defa titreşen mekanik kiriş 50 nano Kelvin’den daha düşük bir sıcaklığa geldiğinde en düşük kuantum enerji düzeyine ulaşıyor (1 nano Kelvin, 1 Kelvin’in milyarda biri ve 0 Kelvin olan -273 °C’den sadece 1/1 milyar derece daha yüksek). Böyle bir sistemin titreşim frekansı ne kadar yüksekse, daha yüksek sıcaklıktaki bir başka kuantum durumuna geçmesi o denli olası. Pratikte mutlak sıfıra yakın soğukluğa erişmek çok zor olduğundan yüksek frekansta titreşebilen sistemler kullanmak zorunlu.

Daha sert kiriş kullanarak sıcaklık sınırı yükseltilebilir. Kirişin sertliği titreşim frekansını yükselteceğinden daha yüksek sıcaklıklarda kuantum davranışa geçiş sağlanabilir. Ama en düşük enerji düzeyinde titreşimler daha küçük genlikte olduğu için bu kez de hareketi ölçmek güçleşiyor. Araştırmacılar bu yüzden iki uç arasında optimum bir seçim yapmak zorunda.

California Üniversitesi’ndeki araştırmacılar, *Nature* dergisinde yayımlanan çalışmada yaklaşık 50 mikron boyutunda disk şeklinde alüminyum zar rezonatörü (çınlatıcı) kullanarak 1 Kelvin’in onda biri gibi görece yüksek bir sıcaklıkta kuantum davranışa geçmeyi başardı. Başarıya ulaşmada en önemli etken, altı trilyon atomdan oluşan bu zarın saniyede altı milyar kez titreşme özelliğinde olması. Aynı başarıya ulaşabilmesi için bir yemek çatalının sıcaklığını alüminyum çınlatıcının sıcaklığından bir milyon kat daha soğuk bir dereceye düşürmek gerekiyor. Fizik deneylerinde bu denli düşük sıcaklıklara içinde sıvı helyum bulunan sistemlerle ulaşıyor. “Dilasyon soğutucusu” denen bir sistem, gündelik yaşamda kullandığımız buzdolabının gaz sirkülasyonuna benzer bir yöntemle birkaç miliKelvin’e kadar inebiliyor.

Bundan sonrası, kuantum davranış özellikleri sergileyen bu zarı gözlemlemek. Fizikte bir sistem üzerinde gözlem

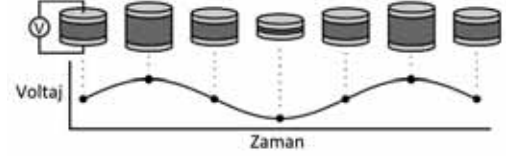
Kuantum makinesi: Aynı anda iki farklı durumda bulunabilen alüminyum zar küçük beyaz karenin sol altında kalıyor. Sol üstte zarla dolanık hale gelerek monitör görevi yapan süper iletken faz kübit yer alıyor. Küçük beyaz kare, zar ile kübit arasındaki elektriksel etkileşimi ileten kapasitör.



ÇINLATICI



Deneyde kullanılan zar şeklindeki alüminyum rezonatör. Çapı yaklaşık insan saç teli kalınlığı olan 50 mikron civarında, eni 750 nano metre.



Rezonatörün alüminyum tabakaları arasında kalan alüminyum nitrat, voltaj uygulandığında esneyip sıkışma özelliği göstererek zarı titreştiriyor. Ya da tam tersi, zar titreştiğinde tabakaların bağlı olduğu uçlar arasındaki gerilim değişerek hareketi ölçüyor. Deneyde bu titreşimler saniyede 6 milyarın üzerine çıkabiliyor.

ya da ölçüm yapmak, onunla etkileşime geçmek anlamına gelir. Ölçüm klasik bir ölçüm cihazıyla yapılırsa alüminyum rezonatör hızla ısınarak kuantum süperpozisyon özelliklerini yitiriyor. Bunu elektronlarla yapılan çift yarık deneyinde elektronun her iki yarıktan da aynı anda geçtiğini görmek isterken ekrandaki girişim deseninin yok olmasına, kuantum süperpozisyon özelliğinin kaybolmasına benzetebiliriz. Bu noktada alüminyum zarın kuantum rejiminden çıkmasını önlemek için onun kuantum süperpozisyon özelliğini aracı bir düzeneyle başka bir kuantum sistemine aktarmak gerekiyor. Kuantum karakterini gözlemlemek deney düzeneğini kuantum ölçüm yöntemlerine göre tasarlamayı gerektiriyor.



Aziz Kolkıran
aziz.kolkıran@gediz.edu.tr

Lisans derecesini ODTÜ Fizik Bölümü'nden alan Kolkıran fotonik alanındaki doktora çalışmalarını Oklahoma Devlet Üniversitesi'nde tamamladı. Araştırmalarını dolanık fotonların kuantum girişimölçerlerde kullanılması ve kuantum ölçme yöntemleri üzerine yoğunlaştırdı. Yazdığı makalelerde, dolanık fotonların manyetik alan ölçümlerinde ve lazer cayrolarında klasik optik yöntemlere göre çok daha duyarlı sonuçlar alınabileceğini gösterdi. TÜBİTAK destekli bir kuantum görüntüleme projesinin yürütücülüğünü yapan Kolkıran, İzmir Gediz Üniversitesi'nde öğretim üyesi.

Araştırmacılar, rezonatörün gerçek-ten kuantum temel enerji durumuna ulaşabildiğini göstermek için aracı sistem olarak Josephson faz kübiti denen, iki kuantum durumuna sahip (bu durumları "0" ve "1" olarak gösterebiliriz) başka bir kuantum cihazını bir kapasitör aracılığıyla elektriksel olarak etkinleştiriyor. Kübit, klasik bilgi işleme sistemlerindeki en küçük bilgi birimi olan "bit" in kuantum karşılığı. Buna göre, iki ayrı durumda bulunabilen bir kuantum sistemi "bir kübit"lik bilgi taşıyor demektir. Klasik "bit"den farkı şu: Bir bit aynı anda ya "0" ya da "1" durumunda bulunurken bir "kübit" kuantum süperpozisyon ilkesi gereği her iki durumda aynı anda bulunabilir, bilgi kapasitesi de bir "bit"e göre çok daha fazladır. Josephson faz kübiti bir süperiletken ve üzerinden geçen akımla iki farklı değer ("0" ve "1" durumları) alabiliyor. Kübitin akım durumu harici bir elektromanyetik dalgayla kontrol edilerek istenen süperpozisyona getirilebiliyor. Klasik fizikte karşılığı olmayan her iki durumda aynı anda olma özelliği ("0" ve "1" in eş süperpozisyonu) kuantum etkileşimiyle (dolanıklık) alüminyum rezonatöre aktarılıyor. Düzenek bu etkileşimle sistem üzerinde tam bir kuantum ölçümüne olanak veriyor.

Önce her iki cihaz, en düşük kuantum enerji düzeyine kadar (25 mili Kelvin) soğutuluyor. Bu sırada her ikisi de

"0" durumunda. Bunun doğruluğunu kanıtlamak için kübitin enerji seviyesi kontrol ediliyor. Bu, kübitin bağlı olduğu elektronik devrenin akım durumu okunarak yapılıyor. "0" durumunda ve "1" durumunda akım iki farklı değer aldığından kübit her iki durumun süperpozisyonu haline getirildiğinde akım belli değerler arasında osilasyon yaparak bir girişim sinyali oluşturuyor.

Kuantum ölçümlerinde girişim sinyali, dalga davranışının habercisi sayılır. Rezonatörün bir kuantumluk enerjisi olması ("1") durumunda aralarında etkileşim kübiti "0" durumundan "1" durumuna getireceğinden rezonatörün enerji durumu ölçülebilir. Kübitin başlangıç durumu akım kontrolüyle "1"e, rezonatöre soğutma ile "0"a ayarlandığında sistem zaman evrimine başlıyor ve kübitteki bir kuantumluk enerji periyodik olarak kübit ve rezonatör arasında gidip gelmeye koyuluyor. Kübit evrimi sırasında "0" ve "1" durumların süperpozisyonuna geldiğinde rezonatör, kübitle dolanık durumda olduğundan "1" ve "0" süperpozisyonuna ulaşıyor. Dolayısıyla, "0" ve "1" durumunda, gözle görülebilir boyutlardaki rezonatör aynı anda hem titreşen hem sabit duran bir zar haline geliyor. Yani gözle görülebilir boyutlardaki makroskobik sistem, tıpkı Schrödinger'in paradoksunda kedinin hem ölü hem de diri olması gibi, iki

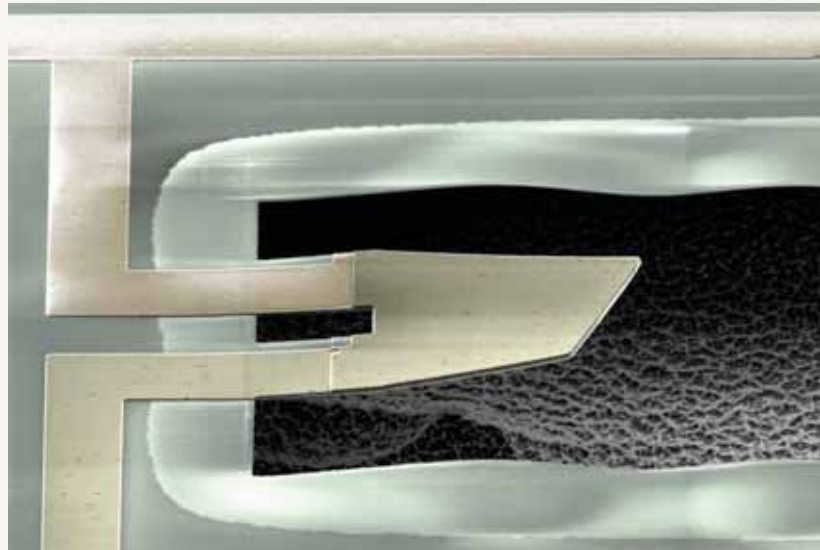
farklı şizofrenik duruma geçmiş oluyor.

Şimdilik 17 nanosaniye süren süperpozisyon süresini uzatmaya yönelik çalışmalar devam ediyor. Bundan sonraki çalışmaların amacı, kuantum makinesinin boyutlarını arttırmak ve kuantum davranışa geçiş sıcaklığını yükseltmek olacak. Diğer taraftan başka araştırmacılar, bu düzeneği kullanarak yeni kuantum bilgi işleme sistemleri geliştirmeyi hedefliyor. California'daki araştırmacıların ulaştığı bu sonuçlar yeni bir teknoloji jenerasyonunun başlangıcı sayılıyor.

Şimdiye dek madde ve enerji dönüşümlerini kontrol etmeyi başaran bilimciler bundan sonra sadece atomaltı dünyada gözlenebilen kuantum etkilerini ve madde dalga ikilemini klasik mekaniğin hüküm sürdüğü makro dünyaya taşıyarak maddenin bilinen gerçekliğini yeniden sorgulamaya çalışıyor. Klasik boyutlarda bir makinenin kuantum etkilerinin gösterildiği bu çalışmanın *Science* dergisi tarafından 2010'un "en önemli bilimsel buluşu" seçilmesinin nedeni de bu.

Kaynaklar:

- Kolkıran A., "Bakmadan görmek mümkün mü?", *NTVBLM*, Kasım 2010.
Kolkıran A., Agarwal G. S., "Quantum properties of a nano-mechanical oscillator", arXiv:cond-mat/0608621v2.
O'Connell A. D. et al., "Quantum ground state and single-phonon control of a mechanical resonator," *Nature*, 17 Mart 2010.
Cho A., "The First Quantum Machine", *Science*, 17 Aralık 2010.



Alüminyum zarın elektron mikroskop görüntüsü.