

# FİZİKÇİLER İLK KEZ ELEKTRONLARI 3 BOYUTLU BİR KRİSTALDE YAKALIYOR

Sonuçlar, üç boyutlu malzemelerde süperiletkenliği ve diğer egzotik elektronik durumları keşfetmenin kapısını açıyor.

# Fizikçiler İlk Kez Elektronları 3 Boyutlu Bir Kristalde Yakalıyor

Gaye Ezgi Yılmaz ve Dr. Adil Denizli

Hacettepe Üniversitesi, Kimya Bölümü, Beytepe, Ankara

Elektronlar, Manhattan'ın yoğun saatlerinin doruğunda işe gidip gelen yolcular gibi iletken bir malzemenin içinde hareket ederler. Yüklü parçacıklar itilip kakılabilir, ancak çoğunlukla her biri kendi enerjisine sahip olarak ileri doğru fırlayan diğer elektronlarla ilgilenmezler.

Ancak bir malzemenin elektronları bir arada tutulduğunda, tamamen aynı enerji durumuna yerleşip tek bir parça gibi davranmaya başlayabilirler. Bu kolektif, zombi benzeri durum, fizikte elektronik "düz bant" olarak bilinen durumdur ve bilim insanları, elektronların bu durumdayken diğer elektronların kuantum etkilerini hissetmeye başlayabileceklerini ve koordineli, kuantum yollarla hareket edebileceklerini tahmin ediyorlar. Daha sonra süperiletkenlik ve manyetizmanın benzersiz biçimleri gibi egzotik davranışlar ortaya çıkabilir.



Şimdi, MIT'deki fizikçiler elektronları saf bir kristalde başarılı bir şekilde hapsetmeyi başardılar. Bilim insanları ilk kez üç boyutlu bir malzemede elektronik düz bant elde etmeyi başardı. Araştırmacılar, bazı kimyasal manipülasyonlarla kristali bir süper iletkene dönüştürebileceklerini de gösterdiler.

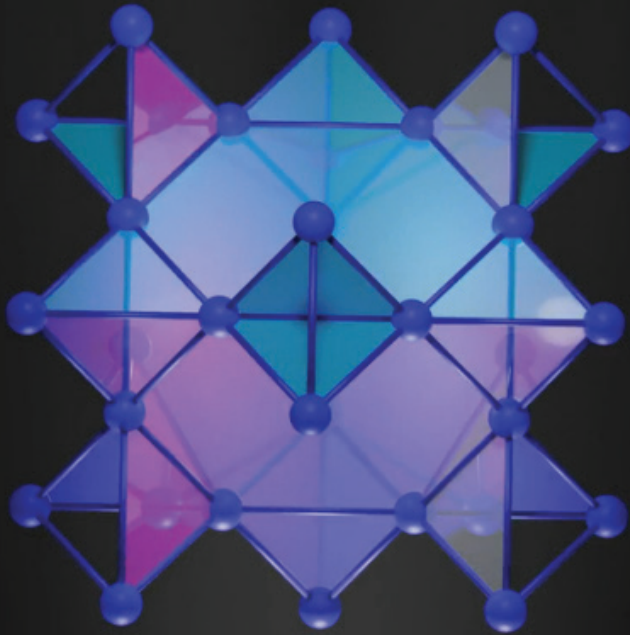
Elektronların sıkışıp kalması kristalin atom geometrisi sayesinde mümkündür. Fizikçilerin sentezlediği kristal, Japon sepet dokuma sanatı "kagome"deki dokuma desenlerine benzeyen bir atom dizilimine

sahip. Bu özel geometride araştırmacılar, elektronların atomlar arasında atlamak yerine "kafeslendiğini" ve aynı enerji bandına yerleştiğini buldular.

Araştırmacılar, bu düz bant durumunun, kagome'den ilham alan 3 boyutlu geometride düzenlendiği sürece neredeyse her türlü atom kombinasyonu ile gerçekleştirilebileceğini söylüyor. Bugün Nature'da ortaya çıkan sonuçlar, bilim adamlarına üç boyutlu malzemelerdeki nadir elektronik durumları keşfetmeleri için yeni bir yol sunuyor. Bu malzemeler

bir gün ultra verimli güç hatlarına, süper bilgi işlem kuantum bitlerine ve daha hızlı, daha akıllı elektronik cihazlara olanak sağlayacak şekilde optimize edilebilir.

Çalışmanın yazarı fizik profesörü Joseph Checkelsky, "Artık bu geometriden düz bir bant oluşturabileceğimizi bildiğimize göre, yeni teknolojiler için bir platform olabilecek başka yeni fiziklere sahip olabilecek diğer yapıları incelemek için büyük bir motivasyonumuz var" diyor.



Son yıllarda fizikçiler elektronları başarılı bir şekilde yakaladılar ve iki boyutlu malzemelerdeki elektronik düz bant durumlarını doğruladılar. Ancak bilim insanları, iki boyutta sıkışıp kalan elektronların üçüncü boyuttan kolayca kaçabildiğini ve bu durumun 2B'de düz bant durumlarının korunmasını zorlaştırdığını buldu.

Checkelsky, Comin ve meslektaşları yeni çalışmalarında, elektronların üç boyutta da sıkışıp kalabileceği ve herhangi bir egzotik elektronik durumun daha istikrarlı bir şekilde korunabileceği şekilde 3 boyutlu malzemelerde düz bantlar gerçekleştirmeye çalıştılar. Kagome desenlerinin bir rol oynayabileceği fikri vardı.

Önceki çalışmada ekip, bazı kagome tasarımlarına benzeyen iki boyutlu bir atom kafesinde sıkışıp kalmış

elektronları gözlemledi. Atomlar birbirine bağlı, köşeleri paylaşan üçgenlerden oluşan bir düzende düzenlendiğinde, elektronlar kafes boyunca atlamak yerine üçgenler arasındaki altıgen boşluk içinde sınırlı kalıyordu. Ancak diğerleri gibi araştırmacılar da elektronların üçüncü boyut aracılığıyla kafesin dışına kaçabileceğini buldular.

Ekip şunu merak etti: Benzer kafeslerden oluşan 3 boyutlu bir konfigürasyon, elektronları kutulamak için işe yarayabilir mi? Materyal yapı veritabanlarında bir cevap aradılar ve genellikle piroklor olarak sınıflandırılan, oldukça simetrik atom geometrisine sahip bir mineral türü olan belirli bir geometrik atom konfigürasyonu ile karşılaştılar. Piroklorun 3 boyutlu atom yapısı tekrar eden bir küp deseni oluşturuyordu; her küpün yüzü kagome benzeri bir kafese benziyordu. Teorik olarak bu geometrinin her küpün

içindeki elektronları etkili bir şekilde yakalayabildiğini buldular.

Bu hipotezi test etmek için araştırmacılar laboratuvarında bir piroklor kristali sentezlediler. Checkelsky, "Doğanın kristal üretme biçiminden farklı değil" diye açıklıyor. "Belirli elementleri (bu durumda kalsiyum ve nikel) bir araya getiriyoruz, onları çok yüksek sıcaklıklarda eritiyoruz, soğutuyoruz ve atomlar kendi başlarına bu kristal, kagome benzeri konfigürasyonda düzenlenecek." Daha sonra kristaldeki elektronların enerjisini ölçmeye çalıştılar ve gerçekten de aynı düz enerji bandına düşüp düşmediklerini gördüler. Bunu yapmak için, araştırmacılar tipik olarak tek bir foton ışığını bir numunenin üzerine tuttular ve bunun da tek bir elektronu dışarı fırlattığı fotoemisyon deneyleri gerçekleştirdiler. Bir dedektör daha sonra o bireysel elektronun enerjisini tam olarak ölçebilir.



Bilim adamları, çeşitli 2 boyutlu malzemelerdeki düz bant durumlarını doğrulamak için foto emisyonu kullandılar. Fiziksel olarak düz, iki boyutlu doğaları nedeniyle bu malzemelerin standart lazer ışığı kullanılarak ölçülmesi nispeten kolaydır. Ancak 3 boyutlu malzemeler için bu görev daha zordur. Comin, "Bu deney için genellikle çok düz bir yüzeye ihtiyacınız var" diye açıklıyor. "Fakat bu 3 boyutlu malzemelerin yüzeyine baktığımızda, çok dalgalı bir manzaraya sahip Rocky Dağları'na benzediklerini görürsünüz. Bu materyaller üzerinde yapılan deneyler çok zorlu ve bu, onların tuzaklanmış elektronlara ev sahipliği yaptığını kimsenin kanıtlayamamasının bir parçası."

Ekip bu engeli, düz olmayan bir 3 boyutlu yüzey boyunca belirli yerleri hedefleyebilen ve bu konulardaki bireysel elektron enerjilerini ölçebilen ultra odaklı bir ışık huzmesi olan açılı çözümlenmeli fotoemisyon spektroskopisi

(ARPES) ile aştı. Comin, "Bu, bu kayalık arazinin her yerindeki çok küçük pistlere bir helikopterin indirilmesine benziyor" diyor. Ekip, ARPES ile sentezlenen bir kristal numunesindeki binlerce elektronun enerjisini yaklaşık yarım saat içinde ölçtü. Kristaldeki elektronların ezici çoğunlukla aynı enerjiyi sergilediğini ve 3 boyutlu malzemenin düz bant durumunu doğruladığını buldular.

Koordineli elektronları egzotik bir elektronik duruma dönüştürüp yönlendiremeyeceklerini görmek için araştırmacılar aynı kristal geometriyi bu kez nikel yerine rodyum ve rutenyum atomlarıyla sentezlediler. Kağıt üzerinde araştırmacılar, bu kimyasal değişimin elektronların düz bandını sıfır enerjiye (otomatik olarak süperiletkenliğe yol açan bir duruma) kaydırması gerektiğini hesapladılar.

Gerçekten de, aynı kagome benzeri 3 boyutlu geometride, elementlerin biraz

farklı bir kombinasyonuna sahip yeni bir kristal sentezlediklerinde, kristalin elektronlarının bu kez süperiletken durumlarda düz bir bant sergilediğini buldular.

Comin, "Bu, yeni ve ilginç kuantum malzemelerinin nasıl bulunacağı konusunda düşünmek için yeni bir paradigma sunuyor" diyor. "Elektronları yakalayabilen bu atomik düzenlemenin bu özel bileşeniyle, her zaman bu düz bantları bulduğumuzu gösterdik. Bu sadece şanslı bir vuruş değil. Bu noktadan itibaren zorluk, potansiyel olarak daha yüksek sıcaklıklarda süperiletkenliği sürdürebilecek düz bantlı malzemelerin vaadini gerçekleştirmek için optimizasyon yapmaktır." diye ekliyor.



“

**Elektronları yakalayabilen bu atomik düzenlemenin bu özel bileşeniyle, her zaman bu düz bantları bulduğumuzu gösterdik. Bu sadece şanslı bir vuruş değil. Bu noktadan itibaren zorluk, potansiyel olarak daha yüksek sıcaklıklarda süperiletkenliği sürdürebilecek düz bantlı malzemelerin vaadini gerçekleştirmek için optimizasyon yapmaktır.**

”