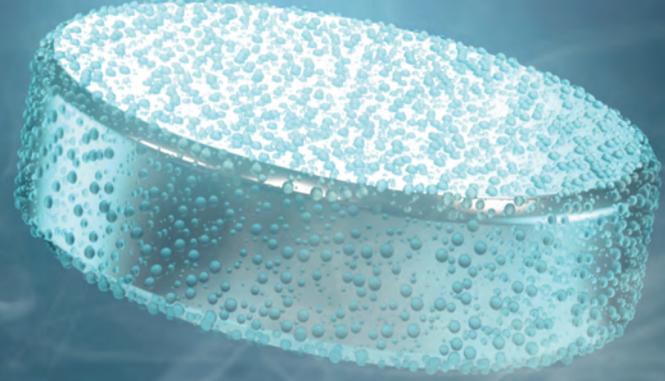


Yüksek Sıcaklık Süper İletkenliğinin Sırrı Çözüldü



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

Oxford Üniversitesinden Séamus Davis ve ekip arkadaşlarının yaptığı deneysel çalışmalar Philip Anderson'un yüksek sıcaklık süper iletkenliği ile ilgili teorisini doğruladı.

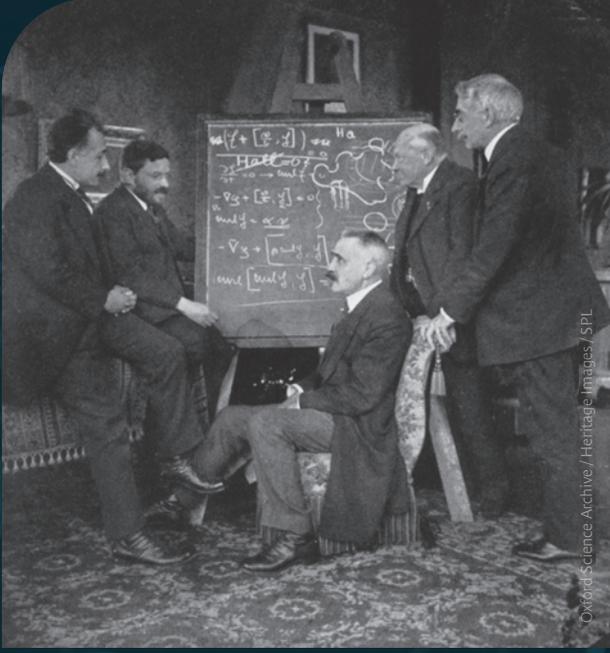
Süper iletkenler, manyetik alanın içlerine girmesine izin vermez. Bu durum mıknatısların süper iletkenlerin üzerinde havada asılı kalmasına imkân verir.

Süper iletkenlik 1911'de keşfedilmişti. Hollandalı fizikçi Heike Kamerlingh Onnes ve arkadaşları bir cıva telin sıcaklığını 4 kelvine düşürdüklerinde telin elektriksel direncinin sıfıra düştüğünü gözlemlemişlerdi.

Bir elektrik akımı, iletken bir telin içinden geçerken elektronlar etraftaki atomlarla etkileşerek saçılır. Bu durum elektronların enerji kaybetmesiyle ve telin ısınmasıyla sonuçlanır. İletkenin sıcaklığı ne kadar yüksekse içindeki atomların titreşim genliği de o kadar yüksektir. Atomların daha büyük bir genlikle titreşmesi ise elektronların daha fazla saçılması ve daha fazla enerji kaybetmesi anlamına gelir. Bu yüzden bir iletkenin sıcaklığı arttıkça elektriksel direnci de artar.

Bir iletkenin sıcaklığı düştükçe elektriksel direncinin azalması beklenir. Ancak sıcaklık ne kadar düşük olursa olsun elektronların atomlarla az da olsa etkileşmesini, dolayısıyla iletkenin az da olsa bir direncinin olmasını beklersiniz. Onnes ve arkadaşlarının deneylerinde ise direnç tamamen sıfıra düşüyordu.

Süper iletkenliğin nasıl ortaya çıktığının kuramsal açıklaması 1950'lerde John Bardeen, Leon Cooper ve John Robert Schrieffer tarafından yapıldı ve fizikçilere Nobel Ödülü kazandı. Araştırmacıların adlarından türetilen BCS kısaltmasıyla anılan kuram, süper iletkenliğin ortaya çıkmasında Cooper çiftlerinin rol aldığını söyler.



Paul Ehrenfest'in Leyden'deki (Hollanda) evinde çekilmiş bir fotoğraf. Soldan sağa: Albert Einstein, Paul Ehrenfest, Paul Langevin, Kamerlingh Onnes ve Pierre Weiss.

Temel parçacıklar fermiyonlar ve bozonlar olarak ikiye ayrılır. İki özdeş fermiyon aynı kuantum durumunda bulunamaz. Aynı kuantum durumunda bulunabilecek özdeş bozonların sayısının ise bir sınırı yoktur. Örneğin elektronlar fermiyon türü parçacıkların bir örneğidir. Bir atomdaki iki elektron aynı kuantum durumunda bulunamaz. Bir orbitalde en fazla iki elektron bulunabilir ve bu elektronların spinleri farklı olmak zorundadır. Fotonlar ise bozon türü parçacıkların örneklerindedir. Bir ışık ışınında aynı kuantum durumunda çok sayıda foton bulunabilir.

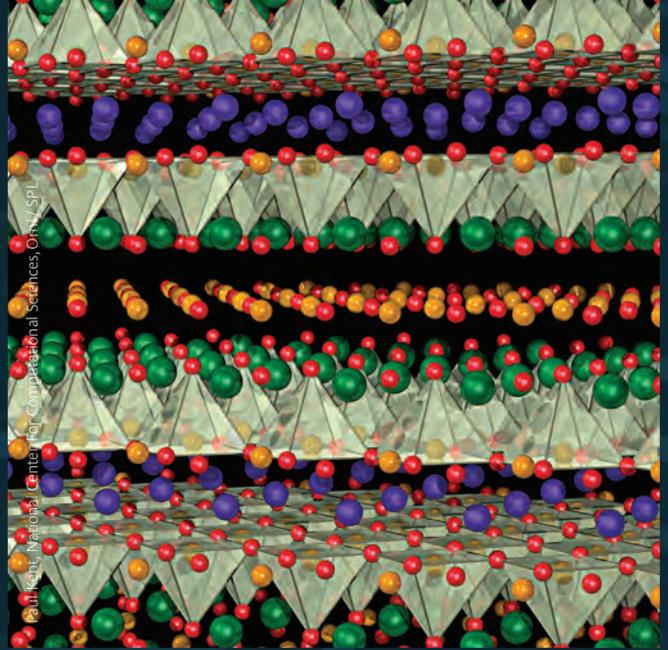
BCS teorisindeki Cooper çiftleri iki elektronun bir araya gelmesiyle oluşur. Kendilerini oluşturan elektronlar fermiyon olsa da Cooper çiftleri bozondur. Dolayısıyla çok sayıda Cooper çifti aynı kuantum durumunda bulunabilir. BCS kuramında da aynı kuantum durumundaki çok sayıda Cooper çiftinin bir araya gelmesiyle bir süper akışkan ortaya çıkar. Elektriksel direncin sıfır olmasını sağlayan, bu süper akışkanın çevresiyle hiç etkileşmeden akabilmesidir.

Süper iletkenliğin düşük sıcaklıklarda ortaya çıkmasının nedeni, Cooper çiftlerini bir arada tutan "tutkal"ın zayıf

olmasıdır. Sıcaklık arttığında Cooper çiftleri kolayca dağılır ve malzeme yeniden elektrik akımına direnç göstermeye başlar.

İlk keşfedilen süper iletkenlerin tamamı mutlak sıfıra çok yakın sıcaklıklarda süper iletken hâle geçiyorlardı. Ancak 1986 yılında IBM araştırmacıları Georg Bednorz ve Alex Müller bir kuprat mineralinin 30 kelvinde süper iletken hâle geçtiğini keşfetti. Hatta ilerleyen zamanlarda önce 100 kelvinin, sonra 130 kelvinin üzerinde süper iletkenlik gösteren başka kuprat mineralleri de keşfedildi.

Kuprat mineralleri bakır ve oksijen atomlarından oluşan katmanlardan ve bu katmanların arasına dağılmış başka tür atomlardan oluşur. Bu minerallerin



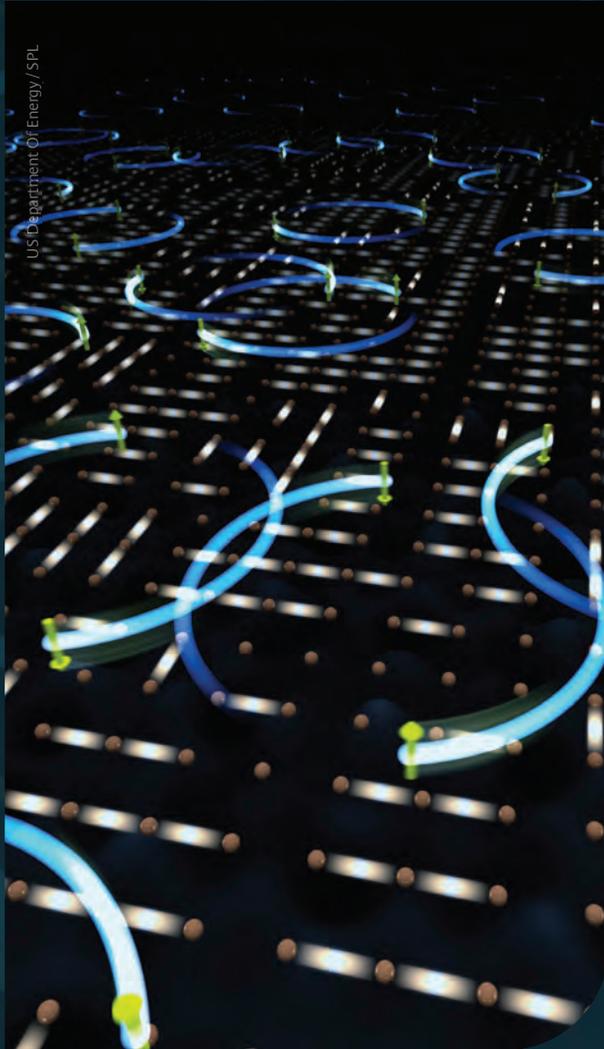
Bir tür kuprat minerali

görece yüksek sıcaklıklarda süper iletken hâle geçmesi fizikçiler arasında doğal olarak ilgi uyandırdı. Kuprat minerallerindeki yüksek sıcaklık süper iletkenliğinin sırrının çözülmesiyle, belki de, oda sıcaklığında bile süper iletken hâle geçebilen malzemelerin üretilebileceği düşünüldü.

Bednorz ve Müller'in keşfinden sadece birkaç ay sonra Nobel Ödüllü fizikçi Philip Anderson, kuprat

minerallerindeki yüksek sıcaklık süper iletkenliğinin nasıl ortaya çıktığına bir açıklama getirdi. Anderson, Cooper çiftlerinin oluşumunda süper değiş-tokuş adı verilen bir kuantum mekaniksel mekanizmanın rol aldığını öne sürdü.

Hendrik Kramers tarafından 1934 yılında öne sürülen süper değiş-tokuş mekanizmasında aynı tür iki katyon (artı yüklü iyon) etkileşir. Katyonlar birbirlerinin en yakın ikinci komşusudur. Süper değiş-tokuş mekanizması, atomlardaki elektronların spinlerinin düzenli bir yapıda bulunmasını sağlar. Anderson, bu düzenli yapı sayesinde Cooper çiftlerinin oluşmasının kolaylaştığını ve görece yüksek sıcaklarda bile kolaylıkla parçalanmadıklarını öne sürdü.



İletken teller gibi yoğun maddelerin içindeki elektronların davranışları üzerine deneyler yapmak zordur. Anderson'un öne sürdüğü düşüncenin test edilmesi de kolay olmadı. Bu konu üzerine yapılan en önemli çalışmalardan birine, Oxford Üniversitesinden Séamus Davis ve öğrencileri imza attı. Araştırmacılar 2016 yılında yayımladıkları makalelerinde kuprat minerallerini taramalı elektron mikroskopuyla incelemiştir. Sıradan bir taramalı elektron mikroskopunda malzemenin yüzeyini tarayan metalik bir iğne bulunur. Davis ve öğrencileri ise deneylerde mikroskopun metal iğnesini bir süper iletken iğne ile değiştirerek ilk kez Cooper çiftlerini görüntülemeyi başarmışlardı. Aynı yıl bir grup Çinli araştırmacı, süper değiş-tokuş mekanizmasının kritik sıcaklığı (süper iletkenliğin ortaya çıktığı sıcaklığı) yukarılara taşıdığını gösteren bir çalışmaya imza attı. Son olarak Davis ve öğrencileri Çinli grubun kullandığı yöntemleri kendilerinininkiyle bir araya getirerek yeni bir çalışma yaptı. Araştırmacıların bizmut stronsiyum kalsiyum bakır oksit (BSCCO) adlı kuprat mineralleri üzerinde yaptıkları araştırma sırasında süper iletkenlik doğrudan gözlemlendi. Sonuçları Proceedings of the National Academy of Sciences (USA)'de yayımlanan çalışmanın bugüne kadar Anderson'un yüksek sıcaklık süper iletkenliği ile ilgili öne sürdüğü açıklamayı destekleyen en ikna edici sonuçları içerdiği söyleniyor.

Kuprat minerallerindeki yüksek sıcaklık süper iletkenliğinin nasıl ortaya çıktığının anlaşılmasıyla birlikte oda sıcaklığında süper iletkenlik gösteren malzemeler üretmeye yönelik çalışmaların da hız kazanması bekleniyor. ■

Kaynak

<https://www.pnas.org/doi/10.1073/pnas.2207449119>