

ODA SICAKLIĞI SÜPERİLETKENLİĞİNE DOĞRU

Doç. Dr. Metin DURGUT
ODTÜ, Fizik Bölümü

Son birbuçuk yılda elde edilen deneysel sonuçlar aynı başarılı çizgiyi sürdürürse, yeni bir süperiletkenlik devrimini ilan edebiliriz. Elektronik bilgi işlem makineleri devriminden sonra malzeme-bilimi aşaması olarak nitelenmesi gereken yüksek-teknoloji devriminin belki de en önemli bir adımı bugünlerde atılıyor.

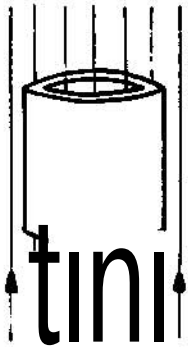
1985'E KADAR SÜPERİLETKENLİK

Bazı metallerin ve alaşımların çok düşük sıcaklıklarda elektriksel dirençlerinin tamamen yokolmasına süperiletkenlik denir. Normal bir iletkenin geçen akım, "elektronik sürtünme" nedeniyle iletkeni ısıtarak enerji kaybına neden olurken, süperiletken devrelerde, bu cins kayıplar bulunmadığı için herhangi bir dış kaynağa gerek kalmadan akım geçebilmektedir.

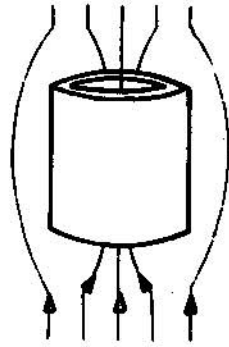
1911 yılında K. Onnes'in mutlak sıfır derece ($-273^{\circ}\text{C} = 0^{\circ}\text{K}$) civarında sıvılaştırılmış helyum içine batırılmış civa çubuğunun elektrik direncinin 4°K de aniden sıfıra düşmesini gözlemesi sonucu süperiletkenlik keşfedilmiş oldu. Süperiletkenliğin temel özelliklerini açıklamak için

örnek olarak Şekil 1'deki içi boş iletken silindiri kullanacağız. Silindir normal iletken durumunda iken bir dış manyetik alan içinde bulunmaktadır. Sıcaklık belli bir kritik T_c değerinin altına düşürülünce, silindirin yüzeyinden, bir kaynak bağlı olmadığı halde, akım geçmeye başladığı görülecektir. Süperiletkenlerde bu şekilde oluşturulan halka akımlarının ikibuçuk yıla kadar bozulmadan kaldığı gözlenmiştir. Normal bir iletkenin ise dış kaynak bulunmadan başlatılacak bir akım elektron çarpışmaları sonucu derhal sıfıra düşecektir.

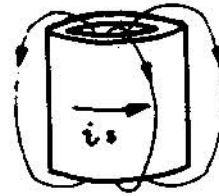
Yüksek sıcaklık dışında süperiletkenliği bozan başlıca faktörler yüksek manyetik alan ve yüksek akım yoğunluğudur. Kritik manyetik alanı (H_{c1} 10^5 gauss mertebesinde olan pratik süperiletken mıknatısların yapımı ancak 1960'ların başında mümkün olmuştur. Şekil 1c'deki süperiletken silindirin içinde hapsedilen (ve yüzey akımları ile yaratılan) manyetik akının $\Phi = \int \mathbf{H} \cdot d\mathbf{s} = 2 \times 10^{-7}$ gauss/ sm^2 birim akısının tam katları olduğu (yani kuantize olduğu) 1962'de saptanınca, süperiletkenliğin makro-dü-



a) $T > T_c, H_{dış} \neq 0$
normal durum



b) $T < T_c, H_{dış} \neq 0$
süperiletken durum



c) $T < T_c, H_{dış} = 0$
süperiletken durum

ŞEKİL 1. Manyetik alan içine konmuş silindir

zeyde bir kuantum olayı olduğu da en güzel bir şekilde gözlenmiş oldu.

Sonsuz iletkenlik nedeniyle, bir süperiletkenin içinde elektrik alanının sıfır olacağı bellidir. Çok daha temel bir özellik, yani manyetik alanın da sıfır olduğu, 1933'te Meissner tarafından gösterildi. Şekil 1.b'ye dönersek, $T < T_k$ için manyetik alan silindirin ortasına ve dışına itilmiştir. Silindirin içinden geçen manyetik alan, 10^{-8} sm kalınlığında bir yaprakta akan yüzey akımının yarattığı karşı manyetik alanla yok edilmektedir. Süperiletkenlik durumu kararlı bir termodinamik fazı temsil ettiğinden, normal iletkenlik fazına göre daha düşük serbest enerjiye sahiptir, öte yandan, manyetik alan içine konduğunda, bu alanın dışarılanması serbest enerjiyi artırdığından, $H > H_k$ durumunda süperiletken maddenin toplam serbest enerjisi normal iletkeninkinden daha fazla olur ve süperiletken normal iletkeneye dönüşür. Meissner etkisinin tam olmadığı ikinci tip süperiletkenlerde, H_{k1} ve H_{k2} kritik alan değerleri arasında kalan manyetik alanlar ince iplikler halinde süperiletkenin içine sızmaktadır (iplikler, çevrelerinde dolaşan yüzey akımları tarafından oluşturuluyor). Günümüz yüksek alanlı süperiletkenleri, işte yüksek H_c 'ye sahip bu ikinci tip süperiletkenlerden imal edilmektedir.

Süperiletkenliğin ilk başarılı modellemeleri 1935'te London kardeşler, 1950'de ise W.L. Ginsburg ve L.D. Landan tarafından önerilmiştir. 1957'de J.Bardeen, L.Cooper ve J.R. Schrieffer süperiletken yük taşıyıcılarının tek elektron yerine, zıt momentumlu ve zıt spinli elektron çiftlerinden oluştuğunu gösterdiler ve BSC adı ile anılan bu teori ile 1972 Nobel Fizik ödülü'nü aldılar. Akım geçtiğinde, çarpışmalar sonucu bir çift bozulsa bile hemen ardından tekrar birleşerek eski konumlarına dönmektedirler. Elektron çiftlerinin karakterize ettiği bu uzun erimli süperiletken düzen en azından düşük sıcaklıklarda süperiletkenlik olayını çok başarılı bir şekilde açıklamıştır.

Standard teoriye son önemli bir katkı, Josephson'un iki süperiletken arasında sandviçlenmiş ince bir yalıtkan tabakadan süperakımların geçeceğini bulması olmuştur. Böyle bir sisteme dış voltaj kaynağı uygulandığında ise mikrodalga frekanslarında alternatif süperakımlar oluşmaktadır. Paralel bağlanmış iki Josephson ekleminden (süperiletken-yalıtkan-süperiletken) geçen akımın özelliklerinden yararlanılarak, son derece duyarlı manyetik ölçümler (ve akım-voltaj ölçümleri) yapılabilmektedir. SÇUID (süperiletken kuantum girişimi aygıtı) adı verilen bu aygıtlar bilinen en hassas magnetodedektörler arasındadır.

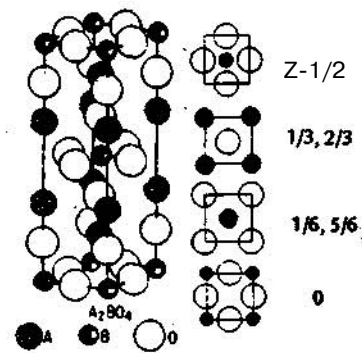
Süperiletken bilgisayar elemanları sayesinde şimdikinden yüzlerce kat hızlı bilgisayarların yapımının mümkün olduğu uzun süredir bilinmektedir. Hız kadar önemli bir başka avantaj da ısınma sorununun kalkması ile makinelerin çok daha küçük boyutlarda tasarlanabilmesidir.

1960'larda J. Kunzler Nb_3Sn alaşımının tel-süperiletken haline getirilebileceğini göstererek yüksek güç elektrik makinelerinde süperiletkenlerin kullanılmasına öncülük etti. 20×10^7 gauss'luk alanlarda süperiletken özelliğini koruyabilen bu malzeme, aynı zamanda görece olarak yüksek T_k 'lara sahip bir süperiletken sınıftan gelmektedir. Bu sınıfın en yüksek T_k 'sı ise $23^\circ K$ ile Nb_3Ge 'a aittir.

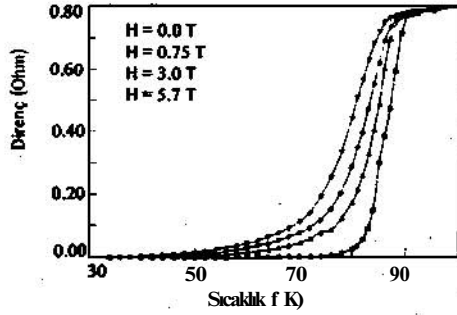
İlk süperiletkenli elektrik motoru (3000 hp) 1960'larda İngiltere'de ilk jeneratör (5 megawatt) ise 1970'lerin başında VVestinghouse tarafından A.B.D.'de yapıldı. Normal iletkenli birkaç yüz megawatt'lık jeneratörlerde eski bilinen süperiletkenler kullanılması halinde bile güçlerinin birkaç kat artacağını hatırlarsak, yüksek sıcaklıklarda işlevini sürdüreceği yeni süperiletkenlerden elde edilecek verim hakkında bir fikir sahibi olabiliriz.

1986-87 ARASI SÜPERİLETKENLİK

1970lerle 1986 arasında kalan sessiz dönem, bazı bakır-oksitli seramiklerin yüksek T_k süperiletkenler olduklarının keşfi ile hummalı bir araştırma periyoduna dönüşü verdi, ilk buluş 1986'da Zürih IBM Uboratuvan'ndan geldi; K.A. Müller Ba-La-Cu-O sisteminin $35^\circ K$ 'de süperiletken olduğunu gördü. Bu sonucun 1986'da yayımlanmasını izleyen bir yıl içinde yer alan gelişmeler ise başdöndürücüdür. Bu sonucun Japonya, Çin ve A.B.D.'de tekrar edilip onaylanmasından sonra Bell Laboratuvarı'n'da $32^\circ K$; Houston Üniversitesi'nde $52^\circ K$ ve nihayet Wu (Alabama Univ.), Chu (Houston Onhr.) ve M.Cohen (Kaliforniya Onhr. Berkeley) tarafından Y (yttrium)-Ba-Cu-O sisteminde $93^\circ K$ ve $98^\circ K$ 'ya erişildi. Artık sıvı helyum gibi çok pahalı ve dikkat isteyen bir soğutucu ($4.2^\circ K$) yerine sıvı azot gibi süttten ucuz bir soğutucu ($77^\circ K$) kullanabilecek süperiletken teknolojileri gündeme geliyordu. (Bu arada $200^\circ K$ 'den yüksek sıcaklıklarda süperiletkenlik benzeri olayların da rapor edildiğini belirtmeliyiz.) Yüksek T_k ve yüksek H_c değerlerine karşın sera-



ŞEKİL 2. La - Ba - Cu - O kristal yapımı



ŞEKİL 3. Y - Ba - Cu - O için direnç değişmesi
(süperiletkenlik 93°K'da başlıyor)

miklerin kırılğan oldukları ve yüksek akım yoğunluklarında Süperiletkenliklerini kaybettikleri biliniyor. Ne varki birkaç ay içinde IBM, Bell, Toshiba, Argonne gibi büyük laboratuvarlarda tek, halka veya yumuşak şerit (ribon) haline getirilmiş süperiletkenler imal ediliyordu. Nisan ayında I BM'de yeni malzemeden ilk SÇUID yapıldı. SÇUID'ler manyetik detektörler olarak malzeme biliminde ve tıpta iç yapıyı görüntülemekte kullanılmaktadır.

Yüksek Tk süperiletkenlerin, dev parçacık hızlandırıcılardan manyetik itme ilkesine göre çalışan trenlere, yüksek verimli elektrik cihazlarına kadar teknolojinin yüzünü değiştirecek uygulamaları bulunmaktadır. Gene, füzyon için gerekli yüksek manyetik alanların çok daha ekonomik olarak elde edilmeleri ve füzyon enerjisinin pratik hale gelmesi mümkün olabilecektir. Şu anda daha yüksek Tfc'lerin elde edileceğinden herkes emin görünüyor; asıl amaç ise oda sıcaklığında süperiletkenlik. Eğer bu düş gerçekleşirse, yepyeni bir teknoloji çağına gireceğizden emin olabilirsiniz.

Bu vesileyle mühendislik ve temel bilimler arasındaki alışverişin artık onyıllar değil, yıl ve ay ile ölçüldüğü bir çağı başladığı gerçeğini vurgulamak isterim. Modern teknolojik bilginin şimdiye kadar zannettiğimiz gibi bir fincan yağ misali ödünç alınmayacak kadar pahalı ve karmaşık olduğunu göremeyen ve bu bilgiyi üretmeyen toplumlar, onun ürünleri karşısında ilkel tüketiciler olarak yabancılaşmaya mahkumdurlar. Hiç unutmamalı ki, evrensel katkıları kalmayan toplumlar, gün gelir ne olduklarını anlamadan eleniverirler, tıpkı türlerin elendiği gibi...

TMMOB ELEKTRİK MÜHENDİSLERİ ODASI TARAFINDAN ODTÜ MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ ELEKTRİK VE ELEKTRONİK BÖLÜMÜ, TÜRKİYE BİLİMSEL VE TEKNİK ARAŞTIRMA KURUMU'NUN KATKILARIYLA DÜZENLENEN ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ II. ULUSAL KONGRESİ, ELEKTRİK, ELEKTROMEKANİK VE BİLGİSAYAR / 87 SERGİSİ VE TÜM ÜYELERİMİZİN KATILIMINI BEKLİYORUZ.

23-25 Eylül 1987 tarihleri arasında ODTÜ Mühendislik Fakültesi Elektrik ve Elektronik Bölümü Anfilerinde yapılacak olan Kongre ile birlikte açılacak Sergi 28 Eylül 1987 akşamına kadar açık tutulacaktır.