



# SÜPERİLETKENLERİN UYANDIRDIĞI UMUTLAR

*Süperiletkenler, sıcaklığın mutlak sıfıra yakın değerlerinde, elektrik akımının geçişine karşı hiçbir direnç göstermeyen maddelerdir. Son buluşlar, normal çevre sıcaklıklarında da, bu özellikleri taşıyan*

*bazı alaşımlar elde edilebileceği umudunu uyandırıyor. Böylece, günümüzün bilgisayarları ile karşılaştırılamayacak hızlarda işlem yapabilecek süpermakinelerin yapılacağı umudu da doğmuş oluyor.*

**Ç**ok düşük sıcaklıklarda elektrik direncini tümüyle yitiren olağandışı maddeler olan süperiletkenlerin, elektronikte yeğlenen malzemeler olarak kullanılmaları gerekir. Mikroskopik boyutlarla ilgili özellikleriyle, modern elektronikğin hemen hemen tüm işlevlerini, süperiletken malzemelerle gerçekleştirmek kuramsal olarak mümkündür.

Günümüzde, bilgisayarların gücünü artırma araştırmaları da, dar bir kapıdan geçiyor. Çünkü hesaplama hızının artırılması, devrelerdeki tepkime hızının artırılması demektir. On ya da yirmi yıl gibi bir zaman sonra, yarıiletkenlerin yeteneklerinin sınıra ulaşacakları sanılıyor. O zaman, daha öteye geçebilmek için, tekniği tümüyle değiştirmek gerekecek



ve belki de, bilgisayarlarda süperiletkenler çağı başlayacaktır.

## KURAMSAL BİLGİLER

Bildiğimiz bir iletkende, bir elektrik alanına (bir elektrik potansiyeline karşılık gelen) konulan elektronlar, bir kuvvet etkisi altında kaldıkları için, hareket ederler. Bu sırada, atomlarla çarpışan elektronlar enerji yitirirler ve ısınma oluşur. Bu, elektriksel bir direncin varlığından kaynaklanan Joule etkisidir.

Süperiletkenlere gelince, süperiletkenler kuramı, 1957'de, Bardeen, Cooper ve Schrieffer tarafından yayınlanarak, bu üç Amerikalı fizikçiye Nobel Ödülü kazandırmıştır. Onların adlarının baş harflerini taşıyan BCS kuramına göre, bir süperiletkende, belli sayıda elektron birbirleriyle eşleşmiştir. **Cooper çiftleri** denen bu elektron çiftleri, enerji yitirmeden hareket edebilirler. Böylece, direnç ortadan kalktığı için, Joule etkisi oluşmaz.

Ancak, direncin ortadan kalkması, yalnız doğru akım için geçerlidir. Çünkü doğru akımda, Cooper çiftleri serbestçe hareket ederken, eşleşmemiş durumdaki sıradan elektronlar hareketsiz kalırlar. Alternatif akımda ise, özellikle yüksek frekanslarda, yeniden bir direnç ortaya çıkar.

Bir alternatif akım elde etmek için, bir elektrik alanının, elektronları sırayla bir defa bir yönde bir defa da karşıt yönde hareket ettirmesi gerekir. Öyleyse, salınım yapan bir elektrik alanı var demektir. Böyle bir elektrik alanında, Cooper çiftleri enerji yitirmeden geri döndürülürler; eşleşmemiş sıradan elektronlar ise, enerji yitirerek hareket ederler. dolayısıyla, Joule etkisi yeniden ortaya çıkar. Kuşkusuz, iletkenlik temelde Cooper çiftleri ile sağlandığından, Joule etkisi çok zayıf olur.

## SÜPERİLETKENLERİN UYGULAMALARI

Altmışı yıllarda, süperiletkenlerin elektronik imkânları araştırılırken (iki metal süperiletken parçası arasından bir elektrik akımı geçişi ile ilgili olan Josephson eklemi olayı, 1962'de bulunmuştur), yaniletkenler yaygın olarak kullanılıyordu. Süperiletkenlerin yaniletkenlere rakip olabilmesi için, belirgin üstünlükler göstermesi gerekiyordu ve buna inananlar da vardı. Japon ve Amerikan sanayileri, süperiletkenlerle ilgili araştırmalara önemli yatırımlar yaptılar. Süperiletken gereçlerin yapımında ilerlemeler olurken, yaniletkenler üzerinde de önemli ilerlemeler gerçekleşiyordu. Yaniletkenlerin hızlanan gelişmesi kendi kullanım sınırlarını sürekli genişletirken, süperiletkenlikte önemli teknik güçlükler ortaya çıkıyordu. Sonunda, savaş yatıştı; süperiletkenler üzerinde çalışan grupların sayısı azaldı. Yine de çalışmalarını sürdüren Georg Bednorz ve Alex Müller adlı, İsviçre'den iki araştırmacının, yeni bir süperiletken malzemeler sınıfı olarak, yüksek sıcaklık süperiletkenlerini bulması, kendilerine 1987 yılı Nobel Ödülü'nü kazandırdı. Japon sanayiinin çalışmaları ise, ticarî aşamaya ulaşamayıp, gölgede kaldı.

Yüksek sıcaklık süperiletken malzemelerinin bulunması, süperiletkenlik elektroniği alanına duyulan ilgiyi birdenbire yeniden canlandırdı; böylece sıvı azot sıcaklığında işleyen gereçlerin tasarlanması imkânı doğdu. Önceleri, klâsik süperiletkenlerin gerektirdiği mutlak sıfırın üzerindeki birkaç derece sıcaklığa inmek için, sıvı helyum kullanılması zorunluymuştu; ancak, sıvı helyum hem masraflıydı, hem de soğutma yeteneği zayıftı, dolayısıyla da çok miktarda kullanılması gerekiyordu. Oysa yeni süperiletkenlerle, hemen hemen sıradan soğutma tekniklerini kullanmak mümkün oldu; bugün askerler, uçaklara ya da

füzelere, bu sıcaklığa kadar soğutulmuş gereçler yüklemeye çekinmiyorlar.

Elektronik pazarda ise, yalnızca, bir Amerikan kuruluşunun ürettiği ve devrelerinde bir süperiletken gerecin yer aldığı bir tür çok duyarlı osiloskop bulunmaktadır (Şu anda, 7 Gigahertz olan maksimum frekansı, yakında 120 Gigahertze çıkacaktır). Ancak, bu osiloskobun bazı üstünlükleri, yarıiletkenler sanayiince üretilenden yalnızca iki üç kat daha iyidir ve bu da, çok fazla bir elektrik harcaması ile sağlanmaktadır; çünkü bu osiloskopta kullanılan süperiletken gereç de, sıvı helyumla soğutma (4,2 K) gerektirmektedir.

Bunlardan başka, dünyadaki birçok elektronik kuruluşu, yine klâsik süperiletkenlerle, SQUID'ler (süperiletken kuantum girişim gereçleri) üretmektedirler. Bu basit devreler,  $10^{-15}$  Tesla değerindeki son derece zayıf manyetik alanların ölçülmesini sağlamaktadırlar. Biyologlar, SQUID'ler yardımı ile, insan beyninin elektrik akımlarından doğan manyetik alanları incelemeyi başarmışlardır.

Ticarî süperiletkenlerle gerçekleştirilen elektronik ürünleri hepisi bu kadardır. Ancak deneysel araştırmalar sürmektedir. Pratikte süperiletken devrelerin, sürekli gelişmekte olan yarıiletkenlere yetişebilmesi için, yapılması gereken pek çok çalışma olmalıdır. Ayrıca bir süperiletken devrenin, bir yarıiletkenlinin yerine geçebilmesi için, son derece kutsuz üstünlükleri bulunması gerektiğini de unutmamalıyız. Bunun yanında, süperiletkenlerle ilgili, sıvı helyumla 4°K sıcaklığına kadar soğutma sorunu da sürekli bir engel oluşturmaktadır. Böylece, Japonların, süperiletkenlerle neden ticarî aşamaya geçemediklerini de anlamak mümkün olabilir.

Sıvı azotla çalışan yeni yüksek sıcaklık süperiletkenlerini kullanan elektronik dalı ise, henüz oluşmamıştır.

Öyleyse bugün için, süperiletkenlik elektroniği gerçek olmayıp, bir umut durumundadır. Ancak bu, büyük bir umuttur; çünkü süperiletkenlerin içsel (intrinsèque) imkânları, yarıiletkenlerin en gelişmiş olan galyum arsenürinkinden bile çok ilerdedir.

Belki, yakın gelecekte, süperiletkenlerle yarıiletkenleri bir araya getiren **karma (hybride)** gereçler de yapılabilecektir. Bu imkân, sıvı azot sıcaklığında ( $-196^{\circ}\text{C}$ ) çalışan yeni süperiletkenlerle doğmuştur. Aslında yarıiletkenler de, bu düşük sıcaklıklarda oluşan sıcaklıklardakinden daha iyi çalışabilmektedirler. Demek ki, aynı gereç üzerinde, yarıiletkenlerle, süperiletken seramikleri yan yana getirmek mümkün olabilir. Oysa, bu birleştirmeyi klâsik süperiletkenlerle yapmak, daha fazla incelik gerektirir; çünkü bazı yarıiletken bileşenler, 4°K'de iyi işlemezler ve bu sıcaklığa kadar soğutulmaları da, kendilerinden ısı çıkarmak güç olduğu için zordur.



*SQUID (Superconducting Quantum Interference Device), örneğin, insan beyninin ürettiği elektrik akımlarınca oluşturulanlar gibi, çok küçük manyetik alanları ölçmede alıcı olarak kullanılabilen bir süperiletkenlik elektroniği devresidir. Fotoğrafta görülen SQUID, süperiletken seramik malzeme ile yapılmıştır.*

## SÜPERİLETKENLİ EKLEMLERE GİDEN YOL

Karma sistemlere duyulan ilgiyi anlamak için, yarıiletkenlerin niteliklerini geliştirmenin, doğrudan doğruya onları minyatürleştirmeyle ilgili olduğunu hatırlayalım. Minyatürleştirme teknolojisinin gidişi, gitgide mükemmelleşen, ancak masraflı yöntemler gerektirmektedir. Elektronik gravür, iyon ekimi (implantation ionique), özel hızlandırıcılarda üretilen X-ışınları kullanımı gibi. Şimdilik, teknisyenlerin tasarılan, minyatürleştirilmenin daha da süreceği umudunu veremiyor. Ancak, çok küçük devre öğeleri üretmenin önemli bir sakıncası var; çünkü bağlantı yerleri de küçüldüğünden, dirençleri büyüyeceği için, böyle devre öğeleri daha çok ısı harcarlar. Böylece, minyatürleştirme yolundaki başlıca engel, minyatür öğelerin kullanıldığı devrelerin aşırı ısınması olmaktadır.

Dirençten söz edilince, akla hemen süperiletkenler gelir. Bağlantıların dirençleri sakınca oluşturuyorsa, bu bağlantılar neden süperiletkenlerle yapılması? Öyleyse, uygun yerlere, kayıpsız (ya da

en az kayıplı) bağlantılar sağlayacak biçimde, süperiletken malzemeden yapılmış ince katmanlar yerleştirmeyi başarmak gerekir.

Aslında araştırmacılar, süperiletken seramiklerden, katodik püskürtme ile ya da molekül demetleri bombardımanı ile, ince katmanlar elde etmeyi biliyorlar. Yalnız, iri kristallerden oluşan bu orta kalitedeki katmanlar büyük akım yoğunluklarına dayanmıyorlar. Yine de, birçok laboratuvarında gerçekleştirilen çalışmalar sonucunda, bu akım yoğunluğu, yüz bin ampère/cm'lerden milyon ampère/cm'lere çıkmıştır (iletkenlerin taşıyabildiği akım yoğunluğunun, bin ampère/cm'ler basamağında olduğunu hatırlayalım).

Uzmanlar, süperiletken teknolojisinde saf bakırı kullanmayı da öneriyorlar; çünkü sıvı azot sıcaklığına kadar soğutulmuş bakırın direnci de çok küçülmektedir.

Yüksek sıcaklık süperiletkenleri ile, elektronikte karmaşık devreler (bilgi işleme ve bellek devreleri gibi) yapılması, süperiletkenli eklemlerin üretimini başarılmasına, onların minyatürleştirilmesine ve devredeki yerlerine yerleştirilebilmesine dayanmaktadır. Şimdilik, bunların ilki bile gerçekleşmiş değildir; hiçbir laboratuvar, bu yeni malzemelerle bir eklem yapımının gerçekleştiğini bildirmemiştir. Demek ki, daha gidilecek uzun bir yol ve aşılacak birçok engel vardır. Günümüzün süperiletkenli entegre devreleri, sıvı helyum içinde işleyen klâsik süperiletkenleri kullanmaktadır; bunların ise, yarıiletkenlere rakip olmadıklarını görmüştük.

## SÜPERİLETKENLİ EKLEMLERDE SANDVIÇ TEKNOLOJİSİ

Süperiletkenli iki tür Josephson eklemi vardır. SIS denen ilki, Süperiletken-yalıtkan (Isolant) - Süperiletken sandviçidir. SNS denen ikincisi ise, Süperiletken-Normal iletken (metal) - Süperiletken sandviçidir. Her ikisinde de aradaki bölge dar ve denetlenir olmalıdır. Yeni süperiletkenlerle ara bölge daha da daraltılabilir; ancak bu daraltma yapılırken, iki yanda bulunan süperiletkenlerin yüzeyi etkilenebilir ve yüzeyde süperiletkenlik özelliğini yitirmiş ya da artık iyi bir süperiletken olmayan ince bir katman oluşabilir. Bunun nedeni, ara bölge daraltılırken, süperiletken seramiklerin yapısında bulunan oksijen atomları oranının değişmesidir. Öyleyse, bu daraltmanın özenle yapılmasını sağlayacak yollar bulunmaktadır.

Şimdi, bir eklemin iki süperiletken parçası arasında bir potansiyel farkı uyguladığımızı varsayalım. Bir elektrik akımı geçecektir; ancak bu akım, bir dirençten farklı olarak, potansiyel farkı ile orantılı olmayıp, aşağıda açıklayacağımız gibi, daha karmaşık bir yasaya uyacaktır.

Bir SIS eklemindeki akım, aradaki yalıtıktan,

yalıtkanın çok kalın olmaması koşuluyla, potansiyel farkı sıfır bile olsa, "tünel olayı" ile geçecektir. Ancak bu akımın bir sınır değeri vardır; akımın "kritik" bir değerinin üzerinde, potansiyel farkı birdenbire artacaktır. Öyleyse, böyle bir eklemin, potansiyel farkının var olup olmamasına göre iki durumu bulunur. Dolayısıyla, sayısal elektronikte anahtar olarak kullanılabilir. Eklemin belirten potansiyel farkı (Vo), süperiletken malzemeye bağlıdır. Yeni süperiletkenlerle daha büyük olup, 30 milivolta ulaşmıştır.

Bir SNS ekleminde de benzer olaylar oluşur. Yine, potansiyel farkı sıfır bile olsa, bir akım geçer. Akım  $I_c$  kritik değerine ulaştığı zaman, bir potansiyel farkı ortaya çıkar; ancak burada, potansiyel farkındaki değişim, SIS ekleminde farklı olarak, atlama biçiminde değil, süreklidir. Bu bölgedeki akım da, potansiyel farkı ile orantılı değildir; bu da elektronikte çeşitli kullanımlar sağlar.

## UMUTLAR

Özellikle yeni süperiletkenler, elektromanyetik ışının (aşın yüksek frekanslı ve hatta uzak kırmızı-altı) detektörleri olarak kullanılabilir. En basit kullanım yöntemi, ışının süperiletken maddeye soğutulmasına dayanır. Soğutulma sonucunda, süperiletkenlik durumunun kaybolmasına ya da ölçülebilir düzeyde azalmasına yol açacak bir sıcaklık artışı oluşur. Süperiletken gerecin duyarlılığı büyükse, onun frekans seçimi iyi olmaz. Daha ince bir detektör yapmak için, Josephson olayına başvurmak gerekir. Süperiletken bir eklem bir elektrik gerilimi uygulayarak, yüksek frekanslı bir işaret elde edilebilir. Bunun tersine olarak da, eklem üzerine yüksek frekanslı bir ışınım göndererek, sürekli bir fonksiyon biçimindeki akım-gerilim belirteninde bozulmaları oluşturulabilir. Böylece eklem, detektör görevi yapar.

Güncel araştırmaların gidişi, süperiletkenlerde ilgili çalışmaların süreceğini gösteriyor. Gelecek yıllarda, süperiletkenlik elektronığı uygulamalarının da katlanarak artacağı kesindir. Ancak, bunların rolünün büyük mü, küçük mü olacağı şimdiden söyleyemez. Belki, kullanımlarının bazı özel işlevlere kısıtlanması (elektromanyetik ışınının ya da manyetik alanların algılanması gibi) uygun olabilir. Son olarak, tüm dünyaca, süperiletkenlerin önemine inanıldığı söylenebilir.

Sciences et Avenir'den çev.:  
Yrd.Doç.Dr. Hanaslı GÜR

**YAPMALARINI GEREKEN İŞLERDEN BAŞKASINI YAPANLAR, BİR HİÇ SAYILMAĞA LAYIKTIRLAR.**

Beydebâ