

M SÜPERİLETKENLİK"TE SON DURUM

Doç. Dr. Sımsal ELLİALTIOĞLU
ODTÜ Fizik Bölümü

Bu yıl Fizik Nobel ödülü'nü konuyla yakından uzaktan ilgili hemen herkesin önceden tahmin ettiği gibi Alman J. Bednorz ile İsviçreli Alex Müller aldılar.

Bilim tarihinde öyle buluşlar vardır ki daha başından getireceği yenilikler hissedilir, devir değiştireceği, çığır açacağı açıkça belli olur ve insanlığı merakla ümit karışımı bir heyecana, arayışa ve bekleyişe büründürür. Yüzyılın başında kuantum fiziğinin doğuşu, transistörün icadı, lazerin keşfi bu tip buluşlara gösterilebilecek örneklerden bazılarıdır. Dışarıdan bakan birinin, teknolojinin kudretine pes ettiği ve hayran kaldığı çağımızda "bulunmadık, bilinmedik ne kaldı ki" diye düşündüğü bir sırada yine böyle bir buluşla dünya yerinden oynadı.

Bednorz ve Müller son üç-dört yıldır bazı seramik alaşımların kristal yapılarındaki faz geçişlerini araştırmaktaydılar. Daha önce bir Fransız grubunun bulmuş olduğu La-Ba-Cu-O seramik malzemede 700°C dolayında kristal yapısında tetragonal/ortorombik faz geçişi gözleyen Bednorz ve Müller -söylentiye göre bir rastlantı sonucudüşük sıcaklıklara da baktılar ve malzemenin manyetik eğiliminde birinci derece bir faz geçişi gözlediler. Daha sonra öz direnç ölçümleri ile de kanıtladıkları buluşları, La-Ba-Cu-O seramiğinin ortorombik yapıda 40°K gibi rekor bir sıcaklıkta süperiletkenlik göstermesiydi. Buluşun ilginç yanı bu malzemenin kökeninin bir metalden (iletken) değil tersine bir oksit alaşımdan (yalıtkan) oluşması ve seramik bir yapıya sahip olmasıydı. Bu alaşım aynı zamanda, 1973'den beri 23°K ile kritik sıcaklık rekorunu elinde tutan NbaGe alaşımının yerine de tahta çıkıyordu, önceleri, IBM-Zürich bu buluşu gizli tuttu. Kanımca nedenlerden en büyüğü, o sırada yine aynı laboratuvar da bir yıl önce çok önemli bir buluş sayılan "Taramalı Tünelleme Mikroskopu"nu bulan Binning ve Rohrer'in 1986 Fizik Nobel ödülü'ne adaylıkları için geniş bir kampanya sürdürülmesiydi. Bednorz ve Müller'in deney sonuçları bir süre sonra, çoğunlukla Avrupa okuruna hitap eden ve pek de popüler sayılmayan Zeitschrift für Physik B'de yayımlandı. Artık yepyeni bir malzeme türü araştırmacıların hedefi oluverdi ve "seramiğe hücum" devri başladı. Nitekim Amerikalı Paul Chu ve ekibi kısa süre sonra Y-Ba-Cu-O ile 98°K'e ulaştı. Bu başlı başına önemli bir buluştu ve ilk defa sıvı azot (77°K) sıcaklıklarında süperiletkenlik mümkün oluyordu. Amerika nihayet özlemiş olduğu "Nobel'i görebilecek miydi? Bilindiği gibi son ki yıldır Fizik Nobel ödülleri Avrupa'da kalmıştı. 1985'te Max Planck-Stuttgarftan K. Von Klitzing kuantum Hall etkilerine getirdiği açıklamalardan dolayı, 1986'da ise Binning ve Rohrer ile birlikte yine Alman Ernst Ruska Ödülü almışlardı. Bu yüzden Amerika, Chu için

propagandayı yoğunlaştırdı. Öyle ki bazı popüler yazılarda Bednorz ve Müller'in adına dahi yer verilmediği ya da çok az değinildiği görülüyordu. Nitekim en çok üç MÇ7 arasında paylaşılabilen Nobel Ödülü'nü Chu da hakettiği, ama eğer iş sadece La-Ba-Cu-O ve Y-Ba-Cu-O malzemeleriyle sınırlı kalmış olsaydı. İnsan gücünün ve parasal kaynakların büyük bir hızla yöneltildiği konu, araştırmacıların sistematik bir şekilde yeni malzemeler araması şekline dönüştü ve çok geçmeden yine 100°K civarında nadir-toprak-elementi tabanlı bir seri bakır-oksitin de süperiletkenlik özelliği gösterdiği gözlemlendi. Bunun anlamı ise Chu'nun alaşımının aranılan tek malzeme olmadığıydı. Hatta malzemenin kararlılığı, yenilenbilirliği ve tersinirliği koşulları aranmazsa 260°K'e kadar süperiletken kalan çeşitli stokiometrelerde örnekler elde edilebilirdi.

Süperiletkenliğe Verilen Nobeller

Süperiletkenlik konusu Nobel ödülü yönünden oldukça doğurgan bir konu olagelmıştır. 1911 yılında Hollandalı Kamerlingh Onnes ilk defa sıvılaştırmayı başarabildiği helyumda soğuttuğu civa çubuğunun elektriksel direnç göstermediğini gözleyerek süperiletkenliği buldu ve 1913'te Nobel Ödülü'nün sahibi oldu. Keşfinden 45 yıl sonra 1956'da John Bardeen, Leon Cooper ve Robert Schrieffer fonon (örgü titreşimleri) değiş-tokuşu sayesinde oluşan elektron-çiftleri ile süperiletkenliği açıklayan kuramsal modelini (BCS modeli) geliştirerek 1972'de Nobel Ödülü'nü aldılar. Ertesi yıl ise Nobel ödülü, 1960 yılında süperiletken elektrotlarla tünelleme olayını gözleyen ve BCS'in öngörmüş olduğu enerji aralığını deneysel olarak doğrulayan Ivar Giaever ve yine süperiletken eklemlerde adıyla anılan değişken süperakımları keşfeden Brian Josephson ile yarıiletkenlerde tünel-diyotunu keşfeden Leo Esaki arasında pay edildi. Böylece Esaki'yi saymazsak Bednorz ve Müller'le birlikte süperiletkenlik konusu şimdiye dek sekiz bilim adamına Nobel ödülü getirmiş oldu. Olmasına oldu ama, bu son gelişme ile BCS teorisinin de geçerliliği, daha doğrusu genelliği kuşku götürür oldu. Çünkü BCS teorisine göre elektron çiftinin oluşmasında rol oynayan fononlar yeni malzemede daha büyük frekanslara sahip oldukları halde, 100°K'lık bir kritik sıcaklığı açıklayamamaktadır. Ya BCS teorisinden vazgeçilecek ya da bu teori yeniden gözden geçirilecektir!

Trileste Toplantısı

Keşiften bu yana teori yönünden halen bir kaos dönemi yaşanmakta, "teorici sayısı kadar teori" ortaya atılmış

bulunmaktadır. Yeni fikirler arasında, elektron yerine deşik-çifti (hole) ya da fonon aracılığı yerine plazmon, polaron, soliton, ekziton ve benzeri uyarımların değiş tokuşunun elektronlar-arası çekimden sorumlu olabileceği ileri sürülerek BCS kuramı genelleştirilmeye çalışıldığı gibi senelerce önce 1973'te P.W. Anderson'un çekinerek yayınladığı "Rezonant Değerlik Bağları" modeli bazı ekollerin hücumuna uğrayarak alternatif oluşturulmaya çalışılmıştır. Fakat rf-SQUID magnetometreleri ile yapılan süperiletkenlerde akı-kuantizasyonu deneyleri göstermiştir ki süperiletkenliği oluşturan birimin yükü 2e (elektron çifti)'dir. Anderson'un modeli ise granular yapıya uygulandığında 2e yükünü vermekle birlikte tek kristal yapı için çözüldüğünde yük e olarak bulunmaktadır. Belki de bu yüzden olacak Anderson bu yıl 5-8 Temmuz tarihleri arasında Trieste'de yapılan uluslararası toplantıya adı müşteri çekme için en başından beri ilan edildiği halde katılmadı. Fakat yine de Anderson'un modelini vurgulayan bir iki konuşmacı vardı. Toplantıda kimler yoktu kil Yaklaşık ikiyüz kişinin bildiri sunduğu toplantıda bir o kadar da izleyici vardı. Uluslararası Teorik Fizik Merkezi'nin başkanı Prof. Abdüs Salam'ın konuşması ile açılan toplantıda ilk gün Moskova'dan Ginzburg, Santa Barbara'dan Schrieffer, Zürihten Müller ve IBM'in Fen Bölümü asbaşkanı Chaudhari konuyla ilgili genel görüşleri, tarihsel gelişimini, bugünkü durumunu ve gelecekteki olası uygulamaları dile getirdiler. Bunu takibeden üç gün boyunca sabah 8:30'dan gece 2:00'lere kadar bildiriler sunuldu ve tartışmalar yapıldı. Bu yıl süperiletkenlik konusunda yapılan toplantıların ne ilkiydi Trieste toplantısı ne de sonuncusu. Amerika Fizik Kurumu'nun Mart'ta New York toplantısı, Avrupa Fizik Kurumu'nun Nisan'da Pisa toplantısı ve yine İtalya'nın Cenova kentinde bu toplantıdan hemen önce yapılan deneyicilerin biraraya geldikleri toplantı bunlardan sadece bazıları. Bunların yanı sıra yoğun madde fiziğinde yapılan tüm toplantılara bir akşamlik ya da yarım günlük uydu seansları eklenerek süperiletkenlik konusunda bilgi alışverişi yapıldı. Trieste toplantısı bir bakıma durum değerlendirmesi amacı gütmekteydi ve özellikle ilk defa Sovyetler Birliği'nden geniş katılım görmesi bakımından da ilginçti. Sovyetlerin açıklık politikasından ötürü mü yoksa süperiletkenlik konusuna olan özel ilgilerinden ötürü mü bilemiyorum, ama

TABLO 1. Trieste Toplantısına Bildirili Katılımın Ülkelere Göre Dağılımı (34 Ülke - 198 Bildiri)

Ülke	Bildiri Sayısı	Bildiri Sayısı	
ABD	30	İSRAİL	3
İTALYA	26	TÜRKİYE	2
SSCB	18	DANİMARKA	2
İNGİLTERE	15	SURİYE	2
FRANSA	13	BULGARİSTAN	2
YUGOSLAVYA	12	TANZANYA	1
BREZİLYA	9	AVUSTRALYA	1
ÇİN	9	ARJANTİN	1
İSVİÇRE	7	SRİLANKA	1
İSVEÇ	7	NORVEÇ	1
HİNDİSTAN	6	İSPANYA	1
ALMANYA	5	ÇEKOSLOVAKYA	1
POLONYA	4	TAYLAND	1
MEKSİKA	4	SİNGAPUR	1
HOLLANDA	4	KANADA	1
JAPONYA	3	FİLİPİNLER	1
AVUSTURYA	3	KORE	1

gelenler arasında Khalatnikov, Abrikosov, Ginzburg, Larkin ve Gorkov gibi ünlülerin de olması ikinci olasılığı da vurguluyor sanırım. Sovyetler'den başka Çin, Yugoslavya ve Brezilya gibi ülkelerden de katılım oldukça fazlaydı. Tablo 1'de toplantıya bildirili katılımın ülkelere göre bilançosu yerilmektedir. Herkesin vurguladığı önemli bir nokta da Üçüncü Dünya ülkelerinde bu kez sadece teorik çalışmalar değil aynı zamanda malzemenin kendisinin de yapılabilmesi ve deneysel özelliklerinin ölçülebilmesiydi. ABD gibi ülkelerde ise olayın liselere ve hatta gösteri düzeyinde bile olsa ilkokullara kadar yaygınlaştırıldığı ya da böyle bir çaba içinde bulunduğu görüldü. Seramiği laboratuvarında babası da yapmış olsa, bir ilkökul öğrencisinin elinde bir bardak sıvı-azotla arkadaşlarının karşısına geçip seramik üzerinde miknatısın havada durmasını gösterebilmesi çok etkili olduğu gibi çok kolaydı da: Diğer taraftan yine lise öğrencilerinin fen projesi dersinde malzemeyi reçetesine uygun olarak okullarının olanaklarını kullanarak yapabilmeleri bizde bazı çevrelerde abartılı ve gereksiz gösterişler olarak görünebilir belki, ama teknoloji üreten ülkelerin çocukları için gösterişten çok bir çeşit özümleme ve hazırlıktı. Böyle bir projede kullanılan reçete Tablo 2'de verilmiştir.

TABLO 2: Y-BA-CU-O Süperiletken Seramiği Hazırlama Reçetesi

- (a) 1,2 gr Yttriyumoksit (Y_2O_3)
4,0 gr Baryumkarbon ($BaCO_3$)
2,4 gr Bakıroksit (CuO)
karıştırılıp havanda dövülerek unufak edilir (yaklaşık 1mm).
(b) 900°C sıcaklıkta 12 saat fırınlanır.
(c) Soğutulur, havanda dövülür ve paletler halinde preslenir.
(d) Oksijenli atmosferde 900°C'de tekrar 8 saat fırınlanır.
(e) Saatte 100°C'lik bir hızla (oldukça yavaş) soğutulur. Soğutma hızı ve ortamda su bulunmaması önemlidir.

NOT: Süperiletken seramik zamanla oksijen kaybına uğrayacağından, belli bir süre sonra oksijenli fırında 400°C'ye kadar ısıtılır ve oksijen "solması" sağlanır. Bu işlem her defasında yinelenerek seramiğin süperiletken olarak tekrar tekrar kullanılması sağlanır.

Türkiye Nereden ve Nasıl Başlamalı?

Bu yazıda amacım ne Tablo 1'deki ülkelerin adlarına bakıp karşılaştırma yapmak ne de yurdumuzda şimdiye kadar neden bu malzemenin ya da gösterinin yapılmadığını söyleyerek yakınmak. Çünkü malzemenin yapılması için gerekli fırınlar ODTÜ Malzeme, Kimya ve Fizik bölümlerinde, Beytepe Kimya Mühendisliği, TÜBİTAK-Gebze ve Ankara Nükleer Araştırma Merkezi'nde vardır. Sıvı-azot kesinlikle bir problem değildir, ancak araştırmaların eksiksiz yapılabilmesi için sıvı helyum gereklidir ve böyle bir sistemin yanı sıra gerekli manyetik alanı üretebilen düzenek Beytepe Fizik Mühendisliği'nde bulunmaktadır. Bunlara ODTÜ Fizik ve Elektrik-Elektronik Mühendisliği bölümleri ve Türkiye'deki diğer üniversitelerdeki olanakları da katarsak bilgi edinme ve eğitim düzeyinde bu konuya bir an evvel girmemek için hiçbir neden bulunmamaktadır. Uzun süreli bir teknoloji araştırması olarak ise, çeşitli disiplinlerin ortak çalışmasını gerektiren yönü ile, yaşamsal bir uygulamalı bilim girişimi olacaktır.