

Süperiletkenlikte 1910 Sonrası Gelişmeler (Özellikle Oda Sıcaklığına Yakın Sıcaklıklar)

Hazırlayan: Yüksel Atakan, Dr.Radyasyon Fizikçisi, ybatakan4@gmail.com, 07.05.2025
(Bu yazı aşağıdaki Kaynaklar'dan hazırlanmıştır).

Konuya yabancı olanlara (atlayarak) ve uzmanlara özetler

Süperiletkenlik Nedir? Bazı malzemelerin elektriksel dirençlerini tümüyle yitirdikleri fiziksel bir olaydır ve 1911'de bulunmasında bu yana önemli gelişmeler göstermiştir.

Özellikle oda sıcaklığında süperiletkenliğe ulaşma çabaları son yıllarda büyük ilerleme kaydetmiştir. Aşağıda bu alandaki önemli gelişmeler, bilimsel kaynaklarla birlikte sunulmaktadır.

Erken Keşifler (1911–1980'ler)

- **1911:** Hollandalı fizikçi *Heike Kamerlingh Onnes*, cıvanın 4.2 K sıcaklıkta süperiletken olduğunu keşfetti. Bu keşfiyle 1913'te Nobel Fizik Ödülü'nü aldı.
► [Wikipedia: Süperiletkenlik](#)
- **1957:** *John Bardeen*, *Leon Cooper* ve *Robert Schrieffer* tarafından geliştirilen **BCS Teorisi**, süperiletkenliği "Cooper çiftleri" adı verilen elektron çiftleri üzerinden açıkladı.
► [Wikipedia: BCS Teorisi](#)

Yüksek Sıcaklıklı Süperiletkenler (1986–1990'lar)

- **1986:** *Bednorz* ve *Müller*, 35 K (-238C) sıcaklıkta süperiletkenlik gösteren LBCO (lanthanum barium copper oxide) bileşiğini keşfetti. Bu, "yüksek sıcaklıklı süperiletkenler" dönemini başlattı.
- **1987:** YBCO (yttrium barium copper oxide) adlı bileşik 93 K (-180C)'da süperiletkenlik gösterdi. Bu, azotun sıvı hâliyle soğutma yapılabilmesini mümkün kıldığı için büyük bir ilerlemeydi.
- **1993:** Cıva bazlı kupratlar (cuprate süperiletkenler) 133 K (-140 C) sıcaklıkta süperiletkenlik gösterdi, ancak bu yüksek basınç altında oldu.

Malzeme ve Kuramsal Gelişmeler (2000–2010'lar)

- **2014:** Kupratlarda "yük yoğunluk dalgaları" keşfedildi. Bu yapıların süperiletkenlikle ilişkili olabileceği öne sürüldü.
► [Wired: Süperiletkenliğin Sırrı Çözülüyor](#)
- **2015:** Hidrojen sülfür (H₂S), yaklaşık **150 GPa** basınç altında **203 K** (-70C) sıcaklıkta süperiletkenlik gösterdi. Bu, hidrojen içeren bileşiklerin büyük potansiyel taşıdığını gösterdi.

Oda Sıcaklığında Süperiletkenlik (2020'ler)

- **2020:** *Ranga Dias* liderliğindeki bir ekip, **karbonlu kükürt hidrojen (C-S-H)** bileşiğinin **15°C (288 K)** sıcaklıkta ve yaklaşık **267 GPa** basınç altında süperiletken

olduğunu açıkladı. Bu, şimdiye kadar bilinen en yüksek sıcaklıkta süperiletkenlikti.

► Science.org Makalesi

- **2023:** Güney Koreli araştırmacılar, **LK-99** adını verdikleri bir bileşiğin, **oda sıcaklığı ve normal atmosfer basıncında** süperiletken olduğunu iddia etti. Ancak, bu sonuçlar doğrulanamadı ve bilim dünyasında büyük şüpheyi karşıladı.

► Time.com Haberi

Kuramsal ve Hesaplama Gelişmeler

Yeni süperiletken malzemelerin geliştirilmesinde hesaplamalı kimya ve kuramsal fizik önemli bir rol oynamaktadır. Bu sayede yüksek sıcaklıkta süperiletkenlik gösterme potansiyeli olan yeni bileşikler tahmin edilebilmekte ve laboratuvar ortamında sentezlenmektedir.

► arXiv özeti (ref)

Özet Çizelgeyle Önemli Dönüm Noktaları

Yıl	Gelişme	Kritik Sıcaklık (K)	Basınç Gereksinimi
1911	Cıvada süperiletkenlik keşfi	4.2 K (-268.8C)	Normal
1986	LBCO bileşiğinde süperiletkenlik	35 K	Normal
1987	YBCO bileşiği	93 K	Normal
1993	Cıva bazlı kuprat bileşik	133 K	Yüksek
2015	H ₂ S bileşiği	203 K	~150 GPa
2020	Karbon-kükürt-hidrojen bileşiği	288 K	~267 GPa
2023	LK-99 (doğrulanmamış)	~300 K	Normal (iddia)

Bu gelişmeler, enerjinin kayıpsız taşınması, manyetik levitasyon, süper hızlı bilgisayarlar gibi birçok teknolojiye devrim yaratabilecek potansiyele sahiptir.

EK BİLGİLER



Grafikte görüldüğü gibi:

Normal metallerde sıcaklık arttıkça direnç de artar, çünkü atomların titreşimi arttıkça elektronların çarpışma olasılığı yükselir.

- **Süperiletkenlerde** ise, sıcaklık belirli bir kritik değerin (T_c) altına düştüğünde direnç aniden sıfıra iner. Bu, elektronların "Cooper çiftleri" oluşturarak saçılmadan hareket etmesinden kaynaklanır.

Süperiletkenlikte sıcaklığın direnci nasıl etkilediğini açıklamak için önce **normal iletkenlerdeki direnç** davranışını, sonra da **süperiletkenlerdeki özel durumu** fiziksel formüllerle açıklayalım:

1. Normal İletkenlerde Direnç ve Sıcaklık

Metallerde elektriksel direnç, serbest elektronların örgü içindeki iyonlarla çarpışmasından kaynaklanır. Bu çarpışmalar arttıkça direnç artar. Direncin sıcaklığa bağlılığı yaklaşık olarak şu şekilde ifade edilir:

$$R(T) = R_0 [1 + \alpha(T - T_0)]$$

- $R(T)$: Sıcaklık T 'deki direnç
- R_0 : Başlangıç sıcaklığındaki direnç (genellikle oda sıcaklığı)
- α : Sıcaklık katsayısı (malzemeye özgü bir sabit)
- T : Sıcaklık (Kelvin cinsinden)

Bu formüle göre sıcaklık düştükçe, direnç $R(T)$ azalır, ama **asla sıfıra inmez**.

2. Süperiletkenlikte Direnç Neden Sıfır Olur? (BCS Kuramı)

1957'de geliştirilen **BCS kuramına** göre, süperiletkenlik şu şekilde açıklanır:

- Düşük sıcaklıklarda, elektronlar örgü titreşimleri (fononlar) aracılığıyla birbirlerine "çekilir" ve **Cooper çiftleri** adı verilen bağlı çiftler oluşturur.
- Bu çiftler bir "kuantum durumu" oluşturur ve örgü içindeki dağınıklardan (çarpışmalardan) etkilenmeden hareket eder.
- Sonuç olarak, elektriksel direnç sıfır olur:

$$R(T < T_c) = 0$$

Burada T_c **kritik sıcaklıktır**. Bu sıcaklığın altına inildiğinde sistem süperiletken faza geçer.

BCS Nedir?

BCS, üç fizikçinin soyadlarının baş harflerinden oluşan bir kısaltmadır:

- Bardeen (John Bardeen)
- Cooper (Leon Cooper)
- Schrieffer (Robert Schrieffer)

Bu üçlü, 1957 yılında yayınladıkları çalışmayla, **klasik süperiletkenliği** (tip I süperiletkenler) açıklayan **mikroskobik kuramı** ortaya koymuşlardır. Bu kuram ile 1972 yılında **Nobel Fizik Ödülü** kazanmışlardır.

BCS Kuramı Neyi Açıklar?

BCS Kuramına göre:

- Düşük sıcaklıklarda, elektronlar arasındaki etkileşim sonucu örgü (kristal kafes) içindeki titreşimlerle birbirlerine dolaylı olarak çekilirler.
- Bu çekim, elektronların normalde birbirini itmesine rağmen, düşük enerjili bir **Cooper çifti** oluşturmalarına neden olur.
- Bu çiftler, çarpışmalara girmeden **kolektif bir kuantum durumu** içinde hareket eder.
- Bu durumda sistem **rezistansız akım** taşır — yani direnç **tamamen sıfırlanır**.

BCS Kuramı, biraz daha kuantum mekaniği perspektifinden ve özellikle üç önemli kavram üzerinden açıklanırsa:

1. Cooper Çifti ve Dalga Fonksiyonu

► Cooper Çifti Nedir?

Bir metalde, normalde elektronlar birbirini **itici Coulomb kuvvetiyle** iter. Ancak çok düşük sıcaklıklarda, örgü içindeki titreşim kuantumları sayesinde bu etkileşim **dolaylı bir çekime** dönüşebilir. Bu durumda:

- İki elektron **zıt spinli** ve **zıt momentumlu** şekilde eşleşebilir.
- Oluşan bu çiftlere **Cooper çifti** denir.

► Dalga Fonksiyonu:

Cooper çiftlerinin tümü aynı kuantum durumuna geçtiği için sistem **bir Bose-Einstein yoğuşması** (BEC) gibi davranır.

Dalga fonksiyonu şu şekildedir:

$$\Psi(\vec{r}_1, \vec{r}_2) = \psi_{\text{center}}(\vec{R}) \cdot \phi_{\text{relative}}(\vec{r})$$

- $\vec{r}_1, \vec{r}_2$: Elektronların konumları
- $\vec{R} = \frac{1}{2}(\vec{r}_1 + \vec{r}_2)$: Merkez koordinat
- $\vec{r} = \vec{r}_1 - \vec{r}_2$: Göreli koordinat

Buradaki **antisimetrik spin durumu**, **simetrik uzaysal dalga fonksiyonu** ile dengelenir (çünkü elektronlar fermiyondur).

2. Enerji Boşluğu (Gap Enerjisi, Δ)

BCS teorisinin en güçlü öngörülerinden biri, süperiletkenlerin enerji spektrumunda bir **boşluk (gap)** olduğudur:

$$E(k) = \sqrt{(\epsilon_k - \mu)^2 + \Delta^2}$$

- ϵ_k : Elektronun enerji seviyesi
- μ : Kimyasal potansiyel
- Δ : Enerji boşluğu — Cooper çiftini kırmak için gereken minimum enerji

Bu enerji boşluğu, dışarıdan küçük bir enerji ile süperiletkenlik durumunun bozulmamasını sağlar. Bu da mükemmel iletkenlik sağlar.

Bilimsel Referanslar (BCS Kuramıyla ilgili)

1. Orijinal Makale:

- Bardeen, J., Cooper, L. N., & Schrieffer, J. R. (1957). *Theory of Superconductivity*.

Physical Review, 108(5), 1175–1204

DOI: 10.1103/PhysRev.108.1175

2. Nobel Ödülü Açıklaması (1972 Nobel Fizik Ödülü):

- <https://www.nobelprize.org/prizes/physics/1972/summary/>

3. İnceleme ve Açıklayıcı Kaynak:

- Tinkham, M. (1996). *Introduction to Superconductivity* (2nd ed.). McGraw-Hill.
- Schrieffer, J. R. (1999). *Theory of Superconductivity*. Westview Press.

4. Wikipedia:

- [BCS theory – Wikipedia](#)