

RÖLATİVİSTİK SİSTEMLERDE KAOS VE SİMETRİ

Özden ASLAN¹ ve Ülker ONBAŞLI²

ÖZET

Kaos kavramı, kaçınılmaz olarak başlangıç koşullarına bağlı bir sistemdeki olasılık yoğunluğunun zamanla değişimi nedeniyle sistemin bir düzenden başka bir düzene geçişi düşünülebilir. Bu bağlamda bakıldığında, rölativistik bir sistem olan süperiletkenler kaotik durum sergilenmesine iyi örneklerden biridir. İkinci dereceden faz geçişine sahip olan süperiletken sistemler kritik kuantum kaos olarak nitelendirilebilecek bazı kritik noktalara sahip sistemlerdir. Kritik kuantum kaos olgusu, quasi-periyodik sistemlerde, etkileşen iki elektronlu sistemlerde ve fraktal matrislerde yaygındır. Quasi-parçacık ve fononlar arası mükemmel harmoniye iyi bir örnek olan yüksek sıcaklık süperiletkenleri, referans sistem alınarak kaotik geçişler incelendiğinde, iki ana kaotik geçiş noktasına sahip olduğu görülür. Bu noktalar, normal iletken halden süperiletken duruma geçiş noktası olan kritik Meissner sıcaklığı (T_c) ve açılal momentumun yön değiştirdiği paramagnetik Meissner sıcaklıklarıdır (T_{PMO}). Her iki halde de kristallografik simetri yani uzay simetrisi korunmaktadır. Ancak, paramagnetik Meissner sıcaklığında zamanın geri döndürme simetrisinin (time reversal symmetry) kırıldığı anlaşılmıştır. Kuantum mekaniksel olarak; normal iletken haldeki sistemi betimleyen s dalgası, birinci kaotik geçiş noktası olan Meissner sıcaklığında d-dalgası halini alır. T_{PMO} 'de spin-orbit etkileşimi ile orbital akımlarının yön değiştirmesi söz konusudur. Bu durum, zaman geri dönüşüm simetrisinin kırıldığı nokta olarak, sistemin ikinci kaotik geçişi olarak betimlenmektedir. Mutlak sıfırdan başlayarak sıcaklık Meissner sıcaklığının üzerine yükseltildiğinde, sistem sırasıyla Bose-Einstein ve Fermi-Dirac olasılık dağılım fonksiyonlarına uyar.

Anahtar kelimeler: Kritik kaos, yüksek sıcaklık süperiletkeni, zaman geri döndürme simetrisi, d-dalga simetrisi, SQUID

1. Kaos ve Süperiletkenlik

Kaos kavramı çok çeşitli şekillerde tanımlanabilir. Kaos sözcüğü daha çok düzensizlik, karmaşa gibi algılsa da bilimsel olarak düşünüldüğünde sistemin kendi içerisinde bir düzenden başka bir düzene geçişi olarak da yorumlanabilir. Ayrıca, çoğu makalelerde kaos başlangıç durumuna hassas bağımlılığı bulunan bir zamansal evrim olarak da tarif edilmektedir [1]. Tüm bu tanımlar ışığında rölativistik bir sistem olan süperiletkenlerin kaotik davranışlar sergileyen sistemler olduğu söylenebilir.

Süperiletken sistemin var oluş düzeyi (state) ve ona ait lineer olmayan kuantum dalga fonksiyonu bilindiğinde, böylesi kaotik bir davranış sergileyen sistemin determine edilebilmesi, yüksek sıcaklık süperiletkenlerinin magnetizasyonunun sıcaklıkla değişimi incelenerek tayin edilebilmiştir. Başka bir deyişle, kaosta lineer bir yapı yoktur. Bu durumda kaotik olan sistemi ancak, ona ait bir fonksiyonuyla betimleyebiliriz. Bu fonksiyon bilinmiyorsa sistem kaotiktir denilmektedir. Bu durumda, süperiletken sistemde bu fonksiyon sayesinde kaotik davranışa ait özellikler betimlenebilmektedir.

Kaos, başlangıç durumuna hassas bağımlılığı olan zamansal bir evrim olarak da düşünülebilir. Entropi göçünün olmadığı süperiletken kuantum sisteminde dış manyetik alan çok zayıf ve sabit olduğundan ve kuantum mekaniksel olarak açılal momentumun z bileşeni sıfırdan geçerek sabit bir değer alacağından, bu ortamda sadece sıcaklık değişmektedir. Böylece, süperiletken sistemde zaman sıcaklık faktörü ile özdeşleştirilebilir. Zaman değişimi

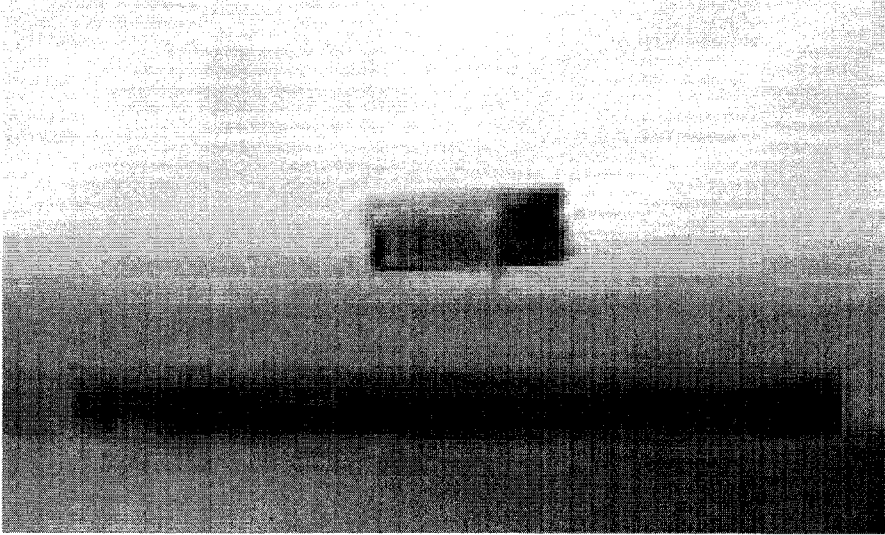
¹ Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Göztepe, 34722, İstanbul, 02163873629, 02163478783, ozdenaslan@yahoo.com

² Marmara Üniversitesi, Fizik Bölümü, Göztepe, 34722, İstanbul, 02163693828, 02163478783, phonon@doruk.net.tr

ile yani sıcaklık değişimi ile sistem özgün bir değişme göstermektedir. Çünkü belli bir sıcaklıktan sonra (kritik Meissner sıcaklığı, T_c) sistem, normal iletken durumdan bütün quasi-parçacıkların aynı duruma yoğunlaştığı Bose-Einstein istatistiği ile betimlenen bir var oluş düzeyine yani süperiletken hale geçmektedir. Kısacası, sıcaklık (ya da zaman) sistemin değişip-dönüşmesinde esas rolü oynamaktadır. Bunun yanı sıra, başlangıçtaki alternatif (a.c.) ya da tek yönlü (d.c.) manyetik alanın varlığına bağlı olarak sistemin dış manyetik alana karşı olan davranış karakteristiği de değişebilmektedir.

2. Süperiletken Sistemlerin En Temel Özellikleri

Kaotik bir duruma en iyi örneklerden biri olan süperiletkenlerin en önemli özelliklerinden biri belli sıcaklığın altında dirençlerinin sıfır olmasıdır. Bu sıcaklık Meissner geçiş sıcaklığı ya da kritik geçiş sıcaklığı, T_c olarak adlandırılır Bu geçiş sıcaklığı altındaki bölgede sistem diamagnetik karakterdedir ve sisteme s-dalga ya da d-dalga simetrisi olgusu eşlik eder. Sistemin diamagnetik karakterde olması, süperiletken örneğin uygulanan bir dış manyetik alanı dışarlama eğiliminde olması anlamındadır. Sistem bir dış manyetik alan içerisinde olduğunda bu alanı dışarlayacağından dolayı havada asılı kalabilmektedir. Şekil 1'de süperiletken bir malzemenin havada nasıl asılı kaldığı gösterilmiştir. Fakat belirli bir kritik manyetik alan üzerinde sistemin süperiletkenlik özelliği bozulabilmektedir.

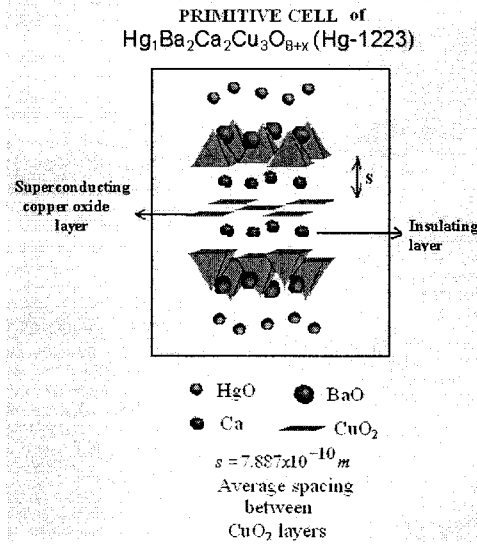


Şekil 1 Süperiletken bir sistemin havada asılı kalması

Diamagnetik davranışa zıt olarak, süperiletken sistem zayıf bir dış manyetik alan altında soğutulduğunda net bir paramagnetik momente sahip olabilir. Sistemin dış alana karşı sergilediği bu olay Paramagnetik Meissner Olayı (PMO) ya da Wohleben Olayı olarak adlandırılır. PMO nin gözlemlendiği sıcaklık (T_{PMO}), T_c ye yakın bir sıcaklıktadır ve bu sıcaklıkta oluşan akımların yönü diamagnetik Meissner akımlarıyla zıt yöndedir. PMO, Nb, Al gibi tek kristal ya da çok temiz hazırlanmış çok kristalli örneklerde kolaylıkla gözlemlenebilir. Ayrıca, PMO çok temiz hazırlanmış civa-bazlı bakır oksit katmanlı (cuprate) süperiletkenlerde de gözlemlenmiştir[2, 3].

Civa bazlı bakır oksit katmanlı yüksek sıcaklık süperiletkeni, normal atmosferik basınçta en yüksek kritik sıcaklığa ($T_c=138$ K) sahip süperiletken olduğundan daha detaylı araştırmaları yapılan maddedir. Söz konusu yüksek sıcaklık süperiletkenleri, iki boyutlu süperiletken ve yalıtkan katmanlar dizisinden ibaret bir sistem olarak göz önüne alınabilir.

Böyle bir yapı Josephson kavşağı olarak adlandırılır. Bu nedenle, civa bazlı süperiletkenler neredeyse ideal, iç Josephson kavşaklarına sahip sistemler olarak kabul edilir. Şekil 2' de civa bazlı yüksek sıcaklık süperiletkeninin birim (primitif) hücresi gösterilmiştir.



Şekil 2 Civa bazlı cuprate süperiletkeninin primitif hücresi

3. Süperiletken Sistemlerin Rölativistik Sistem Olmaları

Elde ettiğimiz deney sonuçları doğrultusunda, civa bazlı bakır oksit katmanlı yüksek sıcaklık süperiletkenlerinde sıcaklık azalırken plazma frekansının mikrodalga bölgeden infrared bölgeye kaydığı bulunmuştur. Başka bir deyişle, sıcaklık azalırken enerjinin azalması beklenirken sistemin enerjisi daha enerjitik olan infrared bölgeye kaymaktadır. Tablo 1'de plazma frekansının sıcaklığa göre değişimi gösterilmektedir.

Tablo 1: Frekansın sıcaklıkla değişimi

T(K)	ω_p (rad / s)	f_p (Hz)
4.2	5.217×10^{14}	8.3×10^{13}
27	2.09×10^{14}	3.33×10^{13}
77	5.217×10^{13}	8.3×10^{12}

Bunun yanı sıra, sıcaklık azalırken, c-ekseni boyunca CuO_2 katmanlarını (süperiletken katmanlar) kuplaja getiren süperiletken kuplaj enerjisi, ϵ_j ve süperiletkenlik oluşma enerjisi olan yoğunlaşma enerjisi, E_b de artmaktadır. Tablo 2'de süperiletkenlik kuplaj ve yoğunlaşma enerjilerinin farklı sıcaklıklardaki değerleri verilmektedir[4].

Tablo 2: Süperiletkenlik yoğunlaşma ve kuplaj enerjilerinin sıcaklıkla değişimi

T(K)	E_b (joule / m^2)	ϵ_j (joule / m^2)
4.2	3.285×10^{-4}	3.29×10^{-4}
27	1.64×10^{-4}	5.33×10^{-5}
77	1.173×10^{-4}	3.29×10^{-6}

Tüm bu veriler ışığında [4], rölativistik sistemlere özgü olan kızıl ötesine kayma olgusuyla süperiletken sistem, rölativistik sistemlerin sergilediği özellikleri sergilemektedir.

4) Rölativistik Kuantum Sistemindeki Simetri Kırılmaları

Rölativistik bir sistem olan süperiletkenler ikinci dereceden bir faz geçişine sahip sistemlerdir. İkinci dereceden faz geçişine sahip olan [5] süperiletken sistemler kritik kuantum kaos olarak nitelendirilebilecek bazı kritik noktalara sahiptirler. Kritik kuantum kaos olgusu, quasi-periyodik sistemlerde, etkileşen iki elektronlu sistemlerde ve fraktal matrislerde yaygındır[6].

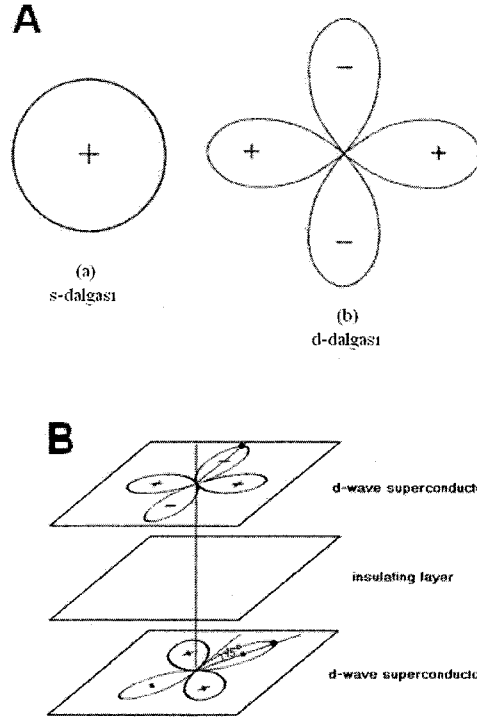
İkinci dereceden faz geçişlerinde simetri kırılmaları süreklidir [5]. Grup teorisine göre başlıca simetrier, kristallografik simetri grubu, X ; bir boyutlu global ayar simetrisi, $U(1)$; zaman geri dönüşüm simetri operasyonu, T ; spin rotasyon simetrisi, $SU(2)$ ve inversiyon simetrisi, I dir.

Kristallografik simetri grubu, X civa bazlı yüksek sıcaklık süperiletkeni için tetragonal $P4/mmm$ simetri grubuna aittir [2]. Normal halden süperiletken hale geçtiğinde dahi bu simetri grubu sürekliliğini korur. Ancak, rölativistik bir sistem olan süperiletken sistemi artık bir dalga fonksiyonu ile betimleyebileceğimizden, kristallografik simetrisinin bu bakımdan kırılacağını söyleyebiliriz. Bu durumda, süperiletken sistem bir \square dalga fonksiyonu ile betimlenebilir.

Tüm süperiletkenler için, bir boyutlu global ayar simetrisi, $U(1)$ süperiletken geçiş sıcaklığı olan kritik Meissner sıcaklığı, T_c de kırılır. Bu geçiş sırasında yüksek sıcaklık süperiletkenlerin de s-dalga simetrisinden d-dalga simetrisine de bir geçiş söz konusudur. D-dalga çiftlenimi aracılığıyla sistem hakkında kuantum mekaniksel bilgi elde edilebilir.

Paramagnetik Meissner olayının maksimum olarak gözlemlendiği sıcaklık olan T_{PMO} da, zaman geri dönüşüm simetrisi, T kırılmaktadır. Daha detaylı bir açıklamayla; PMO, süperiletken ortamda bulunan ve girdap olarak adlandırılan normal iletken bölgelerin varlığıyla oluşmaktadır. Girdaplar çevresinde akan süperiletken akım sayesinde girdap içindeki iç manyetik alan perdelenerek süperiletken bölgelere bu alanın girişi engellenmiş olur. Perdelenen bu akımlar süperiletken örneğin toplam magnetik momentiyile zıt yönlüdür. Zıt yönlü bu akımlar aracılığıyla zaman geri dönüşüm simetrisi kırılmaktadır. Bu sıcaklıkta, ayrıca spin rotasyon simetrisi, $SU(2)$ de kırılmaktadır. Çünkü bu sıcaklıkta sistem magnetik olarak daha düzenli bir hale gelmektedir [7]. Aynı referans sisteminde meydana gelen bu değişimler sistemin kaotik bağlamda ele alınmak zorunluluğunu gündeme getirir.

İnversiyon operasyon simetrisi I ise zayıf bir manyetik alan altında soğutulan civa bazlı cuprate süperiletkenlerde korunmaktadır. Yük rezervuarı olarak işlev gören bakır oksit katmanları yani süperiletken katmanlar yalıtkan bir katmanla ayrılmaktadır. Bu durumda, süperiletken sistem, birçok 45° lik faz farkına sahip Josephson kavşağı birim hücresiyle (JKBH) tasvir edilir [8,9]. Her dört JKBH de inversiyon simetrisi kendini tekrarlamaktadır [10]. Şekil 3'de s-dalgası ve d-dalgasının şematik gösterimi ve 45° li faza sahip d-dalga simetrisi süperiletken sistemin Josephson kavşağı gösterilmektedir.



Şekil 3 a) s-dalgası ve d-dalgasının şematik gösterimi
b) 45° li faza sahip d-dalga simetrlili süperiletken sistemin Josephson kavşağı

5) Süperiletken Bir Cihaz, SQUID

Süperiletken bir cihaz olan SQUID (Superconducting Quantum Interference Devices, Süperiletken Kuantum Girişim Cihazı), manyetik alanlardaki çok küçük değişimleri dahi algılayabilen bir cihazdır. SQUID, esas olarak birden fazla süperiletken-yalıtkan-süperiletken katmanlardan yani Josephson kavşaklarının paralel bağlanmasıyla oluşur. Bu süperiletken cihaz yardımıyla dünyamızın manyetik alanının (10^{-5} T) yaklaşık milyarda biri mertebesindeki küçük manyetik alanların ölçümü yapılabilmektedir. Örneğin, SQUID içeren cihazlar yardımıyla beyindeki biyomagnetik alanların ölçümü elektron yükü, Planck sabiti ve ışık hızı gibi temel sabitler cinsinden yani manyetik akı yoğunluğu değişiminden faydalanarak kesin ve hassas bir biçimde saptanabilmektedir [11]. Bu açıdan bakıldığında, meteorolojistlere, ortamın manyetik akısındaki değişiklikleri, bu cihaz yardımıyla tespit ederek, hava tahminlerini daha doğru ve hızlı bir şekilde yapılabileceği önerilebilir.

6) Sonuçlar

Elde edilen en önemli sonuçlardan biri, birinci kaotik geçiş noktası olan kritik Meissner sıcaklığı altında süperiletken olan sistemi artık sadece kristal bir yapı olarak değil, kuantum mekaniksel bir dalga fonksiyonu ile betimleyebileceğimizdir. Bunun yanı sıra, süperiletken sistem, Meissner geçiş sıcaklığında ortaya çıkan birinci kaotik geçiş sıcaklığından sonra bir mikrodalga kavite olarak davranmaktadır. Bunlardan da öte, süperiletken yapı içerisinde bilinen tüm simetrilerin kırılmasına rağmen, inversiyon simetrisinin korunduğu anlaşılmaktadır.

Kaynakça

- [1] Ufuktepe Ü.,(2004), “T.C. İstanbul Kültür Üniversitesi Yayınları, Yayın no:49”, Kaos ve Sosyal Değişim, *Mantık, Matematik ve Felsefe II Ulusal Sempozyumu*
- [2] Onbaşlı Ü., Wang Y.T., Naziripour A., Tello R., Kiehl W., Hermann A.M.,(1996) “ Transport Properties of High T_c Mercury Cuprates”, *Physica Status Solidi(b)*, 194, 371-382
- [3] Nielsen A.P., Cawthorne A.B., Barbara P., Wellstood F.C., Lobb C.J., Newlock R.S., Forrester M.G.,(2000) “ Paramagnetic Meissner Effect in Multiply Connected Superconductors”, *Phys. Rev.Lett.*, 62, 14380-14383
- [4] Özdemir G.Z., Aslan Ö., Onbaşlı Ü .,(2006), “Determination of c-axis electrodynamic parameters of mercury cuprates” *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, 67, 453-456
- [5] Landau L.D., Lifshitz M., (1969), “*Statistical Physics*”, Volume 5 of Course of Theoretical Physics, Addison-Wesley Publishing Company
- [6] Evangelou S.N.,(2001), “Critical Quantum Chaos”, *Physica B*, 296, 62-65
- [7] Vojta M., Sachdev S., (1999), “ Charge order superconductivity and global phase diagram of doped antiferromagnets”, *Phys. Rev. Lett.*, 83, 3916-3919
- [8] Tsuei C.C., Kirtley J.R.,(2000), “Pairing symmetry in cuprate superconductors”, *Reviews of Modern Physics*, Vol72. No:4, 969-1016
- [9] Li M.S., (2003), “Paramagnetic Meissner and related dynamical phenomena”, *Physics Reports*, 376, 133-223
- [10] Onbaşlı Ü., Özdemir Z.G., Aslan Ö.,(2006), Paramagnetic Meissner effect is a new tool for determining various symmetry brakages, *Review of Modern Physics*'e gönderildi.
- [11] Onbaşlı, Ü.,(1999) Süperiletkenler ve Güncel Teknolojik Uygulamaları, [www.iyitem.com/05_1999/1651 htm](http://www.iyitem.com/05_1999/1651.htm)