

Bi₂Sr₂CaCu₂O_x YTİK MATERIALDA PSEVDZOZOLAQV.M. ƏLİYEV, ¹C.Ə. RƏHİMOV, ²G.Ə. ƏLİYEV, S.Z. DƏMİROVA

Elm və Təhsil Nazirliyinin Fizika İnstitutu, AZ 1073, Bakı ş. H.Cavid pr. 131

¹Azərbaycan Tibb Universiteti, AZ 1022, Bakı ş. Bakıxanov küç. 23²Elm və Təhsil Nazirliyinin Neft-Kimya Prosesləri İnstitutu, AZ 1025, Bakı ş. Khojaly pr., 30

E-mail: v_aliev@bk.ru

Bi₂Sr₂CaCu₂O_x yuxarı temperaturu ifratkeçirici materialın əlavə keçiriciliyini lokal cütlər modeli əsasında analiz etməklə psevdozolağın temperatur asılılığı $\Delta^*(T)$ təyin edilmişdir.

İfratkeçirici Bi₂Sr₂CaCu₂O_x nümunə üçün psevdozolağın maksimal qiyməti təyin edilmişdir.

Açar sözlər: ifratkeçiricilik, psevdozolaq, fluktuasiya keçiriciliyi.

DOI:10.70784/azip.2.2025207

Giriş

İfratkeçirici materiallarda (İK) əmələ gələn psevdozolaq (PZ) effektinə həsr edilmiş əsərlərin çoxluğu [məs. 1–8] ona olan marağın böyük olduğunu göstərir. Bu işlərdə əmələ gələn psevdozolağın İK materiallarda qeyri adi hadisə kimi xarakterizə edilir. Bu hadisə İK materialın tunel effekti, fotoemisiya, istilik tutumu və digər xassələrinin tədqiqi zamanı görünür.

Bu işlərdə qeyd edilir ki, müəyyən temperaturada ($T^* > T_c$) Fermi səviyyəsində sıxlıq vəziyyəti baş verir ki, bu da Fermi səviyyəsinin müəyyən hissəsində bu sıxlığın azalmasına səbəb olur. Bu zaman T^* temperaturdan aşağıda birləşmə psevdozolaq vəziyyətində olur. [9]-cu işdə güman edilir, ki T^* aşağı səviyyədə legirə olunmuş müxtəlif İK nümunələrdə 300-600 K qiymətlərini ala bilər. Lakin bu məsələ hələlik müzakirə səviyyəsində qalmaqdadır. Yuxarıda göstərilən işlərdə göstərilən İK materiallarda əsasən keçiriciliyin mümkün mexanizmləri normal, ifratkeçirici və psevdozolaq vəziyyətlərində müzakirə edilmişdir. Qeyd etməliyik ki, İK materialların psevdozolaq vəziyyətlə sona qədər aydın olmamışdır [10].

Psevdozolaq hadisəsinin öyrənilməsi yüksəktemperaturlu ifratkeçirici (YTİ) materialların tədqiqi fizikanın aktual istiqamətlərindən biridir [11–13]. Böyük

həcmdə nəticələrin yığılmasına baxmayaraq indiyə qədər psevdozolağın təbiəti aydınlaşdırılmamışdır. Eyni zamanda onun İK materiallarda ifratkeçiriciliyin əmələ gəlməsində rolu məlum olmamışdır.

Qeyd edək, ki yuxarı temperaturalarda ifratkeçirici keçidin (T_c) baş verməsinin səbəbi hələlik həll olunmamış problem kimi qalmaqdadır. YTİ materiallarda həm psevdozolaq fazasının həm də yüksəktemperaturlu ifratkeçiriciliyin problemləri həll olunmamış qalır. Əsasən eksperimental işlərin müzakirəsi aparılaraq onların nəticələri əsasında psevdozolağın təbiəti haqqında fikir söylənir.

Beləliklə, sayırıq, ki Bi₂Sr₂CaCu₂O_x YTİK materialda onun psevdozolaq fazasının öyrənilməsi aktualdır.

Təqdim edilmiş işin məqsədi Bi₂Sr₂CaCu₂O_x İK materialın psevdozolaq hadisəsinin temperatur asılılığını və onun qiymətinin analizini bu günə məlum modellər əsasında tədqiq etməkdir [11, 14].

Psevdozolağın temperatur asılılığının analizi

Psevdozolağın temperatur asılılığını tədqiq etmək üçün Bi₂Sr₂CaCu₂O_x İK materialın [15] fluktuasiya keçiriciliyinin hesablanmasıdan alınmış nəticələr istifadə edilmiş və 1-ci cədvəldə göstərilmişdir.

Cədvəl1.

Bi₂Sr₂CaCu₂O_x nümunəsinin fluktuasiya keçiriciliyinin analizindən alınmış parametrləri [15]

BSCCO	$\rho(300K)$, mkOm·sm	$\rho(100K)$, mkOm·sm	T_c, K	T_c^{mf}, K	T_G, K	T^*, K	$\xi_c(0), \text{Å}$
Bi ₂ Sr ₂ CaCu ₂ O _x	77,8	54	72,9	81,6	82,5	107	5,71

Psevdozolağın qiymətləndirilməsi və onun temperatur asılılığının özünü aparması lokal cütlər nəzəriyyəsində [14] təsbit edilmişdir. Sonradan [11]-ci işdə bu nəzəriyyə təkmilləşdirilərək Boze-Eynşteyn kondensatından (BEK) aşağı temperatur ($T^* < T < T_c$) intervalında BKŞ nəzəriyyəsinə keçidin mümkünlüyü göstərilmişdir. Qeyd edək ki, əlavə keçiricilik birmənalı olaraq bu temperatur intervalında əmələ gəlir. Bu zaman fermionların çox ehtimalla cüt əmələ gətirir, yəni güclü əlaqəli bozonlar (GƏB) [16] yaranır. Bozonlar temperaturun kritik temperaturaya ($T \rightarrow T_c$) yaxınlaşması zamanı flutasiya etmiş kuper cütlərinə (FKC) çevrilərək

(BEK-BKŞ keçidi) kupratların koherenlik uzunluqlarının $\xi(T)$ kiçik ölçülü olmasına münbit şərait yaradır.

Aparılan tədqiqatda Bi₂Sr₂CaCu₂O_x İK materialın T^* -dən T_c -yə qədər olan intervalda əlavə keçiriciliyinin qiymətləndirilməsinə və PZ-ın temperatur asılılığını aşağıdakı tənliklərlə hesablanmışdır [17]:

$$\Delta\sigma(\varepsilon) = \left\{ \frac{A(1-T/T^*)[\exp(-\Delta^*/T)]e^2}{16h\xi_c(0)\sqrt{2\varepsilon_0} \cdot sh(2\varepsilon/\varepsilon_0)} \right\} \quad (1),$$

burada $(1-T/T^*)$ $T \leq T^*$ şəraitində əmələ gələn cütlərin sayını təyin edir; $\exp(-\Delta^*/T)$ isə BEK-BKŞ keçidindən

aşağı temperaturda istilik fluktasiyası nəticəsində parçalanmış kütlənin sayıdır.

Tənlikdəki (1) ε və ε_0^* uyğun olaraq $(T/T_c^{mf}-1)$ və

$(T^*/T_c^{mf}-1)$ ifadələrlə hesablanmışdır.

Tənliyin həlli psevdozolağın qiymətini göstərir Δ^* :

$$\Delta^*(T) = T \cdot \ln \left\{ \frac{A(1-T/T^*)e^2}{\Delta\sigma(T)16h\xi_c(0)\sqrt{2\varepsilon_0^*}\cdot sh(2\varepsilon/\varepsilon_0^*)} \right\} \quad (2)$$

Burada $\Delta\sigma(T)$ - seçilmiş əlavə keçiricilikdir.

Birinci və ikinci tənliklərə daxil olan bir çox parametrlər lokal kütlə (LC) modeli çərçivəsində eksperimentdən təyin edilmişdir [18]. T_c , $\xi_c(0)$ və ε parametrlərindən başqa hər iki tənliklərə A koeffisienti əlavə edilmişdir ki bu da FLC nəzəriyyəsinə C-faktoru mənasını daşıyır, ε_0^* isə nəzəri parametrdir [19].

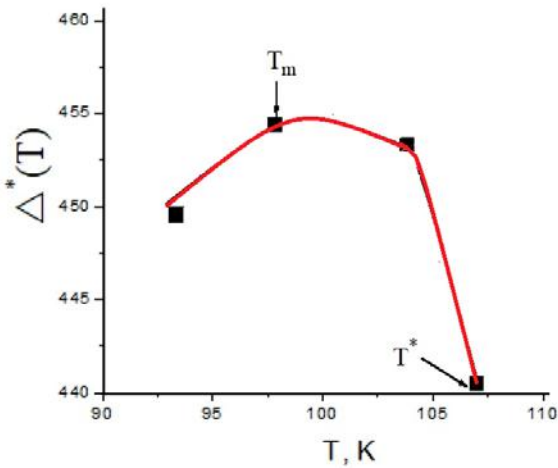
Psevdozolağın $\Delta^*(T)$ temperatur asılılığını və parametrlərinin qiymətlərini (2)-ci tənlik vasitəsi ilə birinci cədvəldə verilmiş qiymətlər əsasında hesablanmışdır. A koeffisientinin qiyməti isə (1)-ci tənliklə hesablanmış əlavə keçiriciliyin temperatur asılılığının onun T_c yaxınlığında 3D fluktuasiyada eksperimentdən alınan qiymətlərlə müqayisədən təyin edilir.

İK materiallarda optimal uyğunlaşma $2\Delta^*(T)/k_B T \approx 5 \div 7$ ifadəsi ilə təyin edilir [20]. $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_x$ İK material üçün $2\Delta^*(T)/k_B T = 5$ təyin edilmişdir. Bu tədqiq edilən nümunə üçün $\Delta^*(T_c)$ qiymətini hesablamağa imkan vermişdir. $\Delta^*(T)$ -nin təyin edilmiş qiymətləri 2-ci cədvəldə göstərilmişdir.

Cədvəl 2.

$\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_x$ nümunə üçün psevdozolağın analizinin parametrləri

BSCCO	A^*	T_m , K	D^* , K	$\Delta^*(T_m)$, K
$\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_x$	1,04	97,8	2,5	456,3



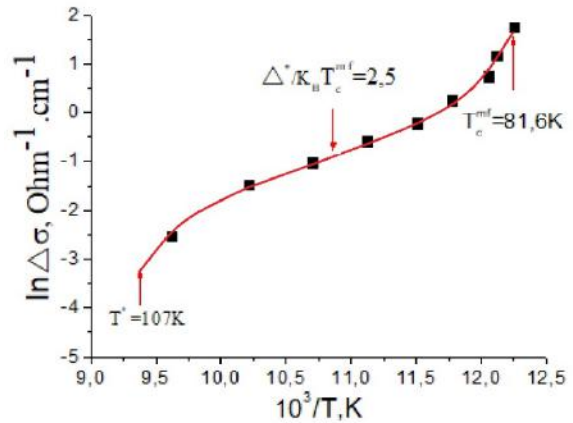
Şəkil 1. $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_x$ nümunəsinin psevdozolağının hesablanmış temperatur asılılığı.

Şəkil 1-də göründüyü kimi, temperaturun aşağı düşməsi ilə psevdozolağın $\Delta^*(T)$ qiyməti əvvəlcə artır, sonra isə maksimumdan keçərək azalır. Bu azalma güclü bozonların fluktuasiya etmiş Kuper kütləsinə çevilməsi BEK-BKŞ keçidi yaradır və onun da nəticəsində

əlavə keçiricilik $T \rightarrow T_c$ şərti ilə artır. Psevdozolağın temperaturun aşağı düşməsi ilə özünü belə aparması ilk dəfə YBKO plenkada qeyd edilmişdir [21].

2-ci şəkildə $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_x$ nümunəsinin əlavə keçiriciliyinin loqarifmasının temperaturun tərs qiymətindən asılılığı verilmişdir. Koordinatın bu cür seçilməsi $\ln \Delta\sigma(1/T) - \Delta^*(T_c)$ asılılığının (2)-ci tənlikdə düzxətli hissəsinin güclü həssaslığı A əmsalının qiymətləndirilməsini təmin edir. $\ln \Delta\sigma(1/T)$ asılılığı [19] işdə yoxlanılmış üsulla hesablanmışdır.

Alınmış göstəricilər əsasında $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_x$ nümunə üçün (2) tənlikdən istifadə etməklə $\Delta\sigma(\varepsilon)$ asılılığı hesablanmışdır. 3D-AL fluktuasiya oblastında T_c yaxınlığında nəzəriyyə ilə eksperimentin müqayisəsi (1)-ci tənlikdə T^* -dən T_c temperatur intervalında yaxşı uyğunluq yaradır. Bu xüsusiyyət əksir JTİK materiallara aiddir. Saymaq olar, ki 2-ci tənlik etibarlı şəkildə psevdozolağın qiymətini və temperatur asılılığını təyin etməyə imkan verir.



Şəkil 2. $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_x$ İK materialın əlavə keçiriciliyinin loqarifminin temperaturun tərs qiymətilə asılılığı. Bütün xətt 1-ci tənliklə eyniliyini göstərir.

Yekun

Beləliklə, bu nəticəyə gələ bilərik ki, bizim tədqiq etdiyimiz $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_x$ $T \gg T_c$ şərti daxilində lokal kütlə əmələ gətirmək imkanına malikdir. Bu isə nümunədə psevdozolağın əmələ gəlməsini təmin edərək Kuper kütləsinin faza koherentliyini $T < T_c$ şərti daxilində təyin etməyə imkan verir..

- [1] М.А. Оболенский, Р.В. Вовк, А.В. Бондаренко. ФНТ 32, 1488, 2006.
- [2] Е.Б. Амитин, К.Р. Жданов, А.Г. Блинов, М.Ю. Каменева, Ю.А. Ковалевская, Л.П. Козеева, И.Е. Пауков. ФНТ 31, 323, 2005,
- [3] М.В. Садовский. УФН 171, 539, 2001.
- [4] М.Р. Трунин. УФН 175, 1017, 2005.
- [5] С.И. Веденеев. УФН, т.191, 9, 937, 2021,
- [6] А. Боярский. ФНТ 32, 1078, 2006, [Low Temp. Phys. 32, 819, 2006].
- [7] А.Л. Соловьев, В.М. Дмитриев. ФНТ 32, 139, 2006 [Low Temp. Phys. 32, 99, 2006].
- [8] T. Timusk and B. Statt, Rep. Prog. Phys. 62, 161, 1999.
- [9] А.И. Головашкин, ВТСП — необычные объекты физики твердого тела, препринт №10, ФИАНим. П.Н. Лебедева, Москва, 2005.
- [10] L. Taillefer, Ann. Rev. Condens. Matter Phys. 1, 51, 2010.
- [11] А.А. Kordyuk, Fiz. Nizk. Temp. 41, 417, 2015, [Low Temp. Phys. 41, 319, 2015].
- [12] А.Л. Соловьев, В.М. Дмитриев. ФНТ 33, 32, 2007.
- [13] A.L. Solovjov. Superconductors–Materials, Properties and Applications.: Pseudogap and Local Pairs in High-Tc Superconductors, A.M.Gabovich (ed.) Rijeka: InTech, ch. 7, p. 137, 2012.
- [14] G.D.Chryssikos, E. I. Kamitsos, J. A. Kapoutsis, A. P. Patsis, V. Psycharis, A. Kafoudakis, C. Mitros, G. Kallias, E. Gamari-Seale and D.Niarchos. Physica, C 254, 44, 1995.
- [15] V. M. Aliev, G.I. Isakov, J. A. Ragimov, V.I. Eminova, S.Z.Damirova, G.A.Alieva. AJP FIZIKA, vol. XXVI №1, 17-20, section: En, 2024.
- [16] R.Peters and J.Bauer. Phys. Rev. B 92, 014511, 2015.
- [17] A.L. Solovjov, L.V. Omelchenko, V. B. Stepanov, R. V. Vovk, H.-U. Habermeier, H. Lochmayer, P. Przyslupski and K. Rogacki. Phys. Rev. B 94, 224505, 2016.
- [18] F.Rullier-Albenque, H.Alloul and G.Rikken. Phys. Rev. B 84, 014522, 2011.
- [19] D.S. Inosov, J.T. Park, A. Charnukha, Yuan Li, A.V. Boris, B. Keimer, V.Hinkov. Phys. Rev. B 83, 214520, 2011.
- [20] Ya. Ponomarev, M. Mikheev, M. Sudakova, S. Tchesnokov, S. Kuzmichev. Phys. Status Solidi C 6, 2072, 2009.
- [21] Д.Д. Прокофьев, М.П. Волков, Ю.А. Бойков. ФТТ, 45, 1168 (2003).

V.M. Aliev, J.A. Ragimov, G.A. Alieva, S.Z. Damirova

PSEUDOGAP IN Bi₂Sr₂CaCu₂O_x HTSC MATERIAL

The analysis of excess conductivity of sample Bi₂Sr₂CaCu₂O_x within the local pair model allowed us to determine the temperature dependences of pseudogap $\Delta^*(T)$.

The maximum pseudogap value was established for sample Bi₂Sr₂CaCu₂O_x.

Qəbul olunma tarixi: 14.04.2025