$Bi_2Sr_2ZnCu_2O_x$ İFRATKEÇİRİCİ MATERİALDA PSEVDOZOLAQ HADİSƏSİNİN TƏDQİQİ

V.M. ƏLİYEV, Q.İ. İSAKOV, [1]C.Ə. RƏHİMOV, [2]G.Ə. ƏLİYEVA

Elm və Təhsil Nazirliyinin H.B. Abdullayev adına Fizika İnstitutu,
AZ 1143, Bakı ş. H.Cavid pr. 131
[1]Azərbaycan Tibb Universiteti, AZ 1022, Bakı ş. Bakıxanov küç. 23
[2] Elm və Təhsil Nazirliyinin Neft-Kimya Prosesləri İnstitutu, AZ 1025, Bakı ş., Xocalı pr.

Lokal cütlər madeli çərçivəsində $Bi_2Sr_2ZnCu_2O_x$ ifratkeçirici materialın əlavə keçiriciliyini tədqiq etməklə onda əmələ gələn psevdozolağın temperatur asılılığı $\Delta^*(T)$ təyin edilmişdir.

$Bi_2Sr_2ZnCu_2O_x$ nümunəsində psevdozolağın maksimal qiyməti tapılmışdır.

Açar sözlər: ifratkeçiricilik, psevdozolaq, fluktuasiya keçiriciliyi.
DOI:10.70784/azip.2.2024207

Giriş

İfratkeçirici materiallarda (İK) əmələ gələn psevdozolaq (PZ) effektinə həsr edilmiş əsərlərin çoxluğu [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, fotoemissiya, 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 diskussiya səviyyəsində qalmaqdadır. Yuxarıda göstərilən işlərdə göstərilən İK materiallarda əsasən keçiriciliyin mümkün mexanizmləri normal, ifratkeçirici və psevdozolaq vəziyyətlərində müzakirə edilmişdir. Qeyd etmək lazımdır, ki İK materialların psevdozolaq vəziyyətl sona qədər aydın olmamışdır [10].

Psevdozolaq hadisəsinin öyrənilməsi yüksəktemperaturlu ifratkeçirici (YTİK) materialların tədqiqi fizikanın aktual istiqamətlərindən biridir [11-13]. Böyük həcmdə nəticələrin yığılmasına baxmayaraq, indiyə qədər psevdozolağin təbiəti aydınlaşdırılmamışdır. Eyni zamanda, onun İK materiallarda ifratkeçiriciliyin əmələ gəlməsində rolu məlum olmamışdır.

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

Beləliklə, hesab edirik ki, $Bi_2Sr_2ZnCu_2O_x$ YTİK materialda onun psevdozolaq fazasının öyrənilməsi aktualdır.

Təqdim edilmiş işin məqsədi $Bi_2Sr_2ZnCu_2O_x$ 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 $Bi_2Sr_2ZnCu_2O_x$ İK materialın **[**15**]** fluktuasiya keçiriciliyinin hesablanmasından alınmış nəticələr istifadə edilmiş və 1-ci cədvəldə göstərilmişdir.

Cədvəl 1.

$Bi_2Sr_2ZnCu_2O_x$ nümunəsininfluktuasiya keçiriciliyinin analizindən alınmış parametrləri**[**15**]**

BSCCO	ρ(300K), мкОм·см	ρ(100K), мкОм·см	T_c,K	T_c^{mf}, K	T_G, K	T^*, K	$\xi c(0)$,Å
$Bi_2Sr_2ZnCu_2O_x$	309,4	374,4	77,5	83,85	85	138	1,89

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 ($T^*<T<T$) intervalında BKŞ nəzəriyyəsinə keçidin mümkünlüyü göstərilmişdir. Qeyd edək, ki əlavə keçiricilik birmənalı olaraq bu temperatur intervalında əmələ gəlir. Bu zaman fermionlar çox ehtimalla cüt əmələ gətirir, yəni güclü əlaqəli bozonlar (GƏB) [16] yaranır. Bozonlar temperaturun krittik temperatura ($T\rightarrow T_c$) yaxınlaşması zamanı fluktuasiya etmiş kuper cütlərinə (FKC) çevrilərək (BEK-BKŞ keçidi) kupratların koherentlik uzunluqlarının $\xi(T)$ kiçik ölçülü olmasına münbit şərait yaradır.

Aparılan tədqiqatda $Bi_2Sr_2ZnCu_2O_x$ İK materialın T^*-dən T_c-yə qədər olan intervalda əlavə keçiriciliyinin qiymətləndirilməsi və PZ-ın temperatur asılılığı aşağıdakı tənliklərlə hesablanmışdır [17] :

131, H.Javid ave, AZ-1143, Baku
Institute of Physics
E-mail: jophphysics@gmail.com

$$\Delta\sigma(\varepsilon) = \left\{\frac{A(1-T/T^*)[exp(-\Delta^*/T)]e^2}{16h\xi_c(0)\sqrt{2\varepsilon_0{}^*\cdot sh(2\varepsilon/\varepsilon^*{}_0)}}\right\} \quad (1)$$

burada (1-T/T*) T ≤ T* şəraitində əmələ gələn cütlərin sayını təyin edir; exp (-Δ*/*T*) isə BEK-BKŞ keçidindən aşağı temperaturda istilik fluktuasiyası nəticəsində parçalanan cütlərin sayıdır.

Tənlikdəki (1) ε və $\varepsilon_0{}^*$ uyğun olaraq ($T/T_c{}^{mf}$-*1*) və ($T^*/T_c{}^{mf}$-*1*) ifadələrlə hesablanmışdır.

Tənliyin həlli psevdozolağın qiymətini göstərir $\triangle^*$:

$$\Delta^*(T) = T \cdot ln\left\{\frac{A(1-T/T^*)e^2}{\Delta\sigma(T)16h\xi_c(0)\sqrt{2\varepsilon_0^*\cdot sh(2\varepsilon/\varepsilon^*{}_0)}}\right\} \quad (2)$$

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

Birinci və ikinci tənliklərə daxil olan bir çox parametrlər lokal cütlər (*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 nəzəriyyəsindəki *C*-faktoru mənasını daşıyır, $\varepsilon_0{}^*$ isə nəzəri parametrdir [19].

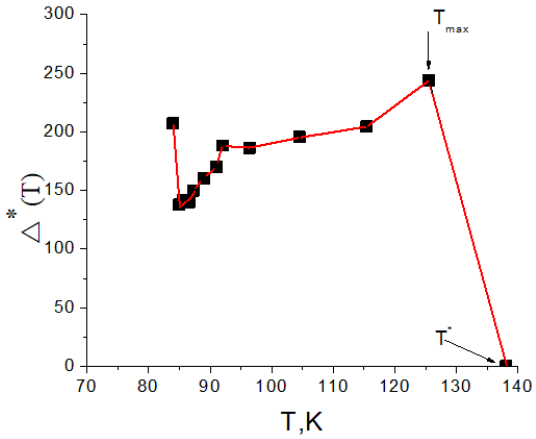
Psevdozolağın Δ*(*T*) temperatur asılılığı və parametrlərinin qiymətlərini (2)-ci tənlik vasitəsi ilə birinci cədvəldə verilmiş qiymətlər əsasında hesablanmışdır. *A* koeffisientinin qiyməti isə (1)-ci tənliklə hesablanmış əlavə keçiriciliyin temperatur asılılığının onun T_c yaxınlığında *3D* fluktuasiyada eksperimentdən alınan qiymətlərlə müqayisədən təyin edilir. İK materiallarda optimal uyğunlaşma $2\Delta^*(T)/\kappa_B T \approx 5\div7$ ifadəsi ilə təyin edilir [20]. $Bi_2Sr_2ZnCu_2O_x$ İK material üçün $2\Delta^*(T)/\kappa_B T=5$ təyin edilmişdir. Bu tədqiq edilən nümunə üçün $\Delta^*(T_c)$ qiymətini hesablamağa imkan vermişdir. Δ*(*T*)-nin təyin edilmiş qiymətləri 2-ci cədvəldə göstərilmişdir.

Cədvəl 2.

$Bi_2Sr_2ZnCu_2O_x$ nümunə üçün psevdozolağın analizinin parametrləri

BSCCO	A*	T_m, K	D*, K	Δ*(T_m), K	Δ*(T_G), K
$Bi_2Sr_2ZnCu_2O_x$	0,0856	112,4	2,5	793,8	268,6

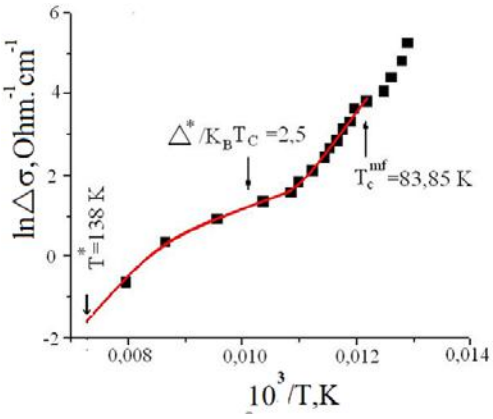
Şəkil 1-dən göründüyü kimi, temperaturun aşağı düşməsi ilə psevdozolağın Δ*(*T*) qiyməti əvvəlcə artır, sonra isə maksimumdan keçərək azalır. Bu azalma güclü bozonların fluktuasiya etmiş Kuper cütlərinə transformasiyası BEK-BKŞ keçidi yaradır və onun da nəticəsində əlavə keçiricilik $T \to T_c$ şərtilə artır. Psevdozolağın temperaturun aşağı düşməsi ilə özünü belə aparması ilk dəfə YBKO plenkada qeyd edilmişdir [21].



Şəkil 1. $Bi_2Sr_2ZnCu_2O_x$ nümunəsinin psevdozolağının hesablanmış temperatur asılılığı.

2-ci şəkildə $Bi_2Sr_2ZnCu_2O_x$ nümunəsinin əlavə keçiriciliyinin loqarifmasının temperaturun tərs qiymətindən asılılığı verilmişdir. Belə koordinatın seçilməsi $\ln\Delta\sigma(1/T)$ - $\Delta^*(T_c)$ asılılığının (2)-ci tənlikdə düzxətli hissəsinin güclü həssaslığı *A* koeffisientinin qiymətləndirilməsini təmin edir. $\ln\Delta\sigma(1/T)$asılılığı [19] işdə yoxlanılmış üsulla hesablanmışdır.

Alınmış parametrlər əsasında $Bi_2Sr_2ZnCu_2O_x$ nümunə üçün (2) tənlikdən istifadə etməklə $\Delta\sigma(\varepsilon)$ asılılığı hesablanmışdır. 3D–AL fluktuasiya oblastında T_c yaxınlığında nəzariyyə ilə eksperimentin müqayisəsi (1)-ci tənlikdə T^*-dən T_G temperatur intervalında yaxşı uyğunluq yaradır. Bu xüsusiyyət əksər JTİK materiallara aiddir. Hesab etmək olar, ki 2-ci tənlik etibarlı şəkildə psevdozolağın qiymətini və temperatur asılılığını təyin etməyə imkan verir.



Şəkil 2. $Bi_2Sr_2ZnCu_2O_x$ İK materialın əlavə keçiriciliyinin loqarifmasının temperaturun tərs qiymətilə asılılığı. Bütöv xətt 1-ci tənliklə approksimasiyanı göstərir.

YEKUN

Beləliklə, nəticəyə gələ bilərik ki, bizim tədqiq etdiyimiz $Bi_2Sr_2ZnCu_2O_x$ $T>>T_c$ şərti daxilində lokal cütlər əmələ gətirmək imkanına malikdir. Bu isə nümunədə psevdozolağın əmələ gəlməsini təmin edərək Kuper cütlərinin 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] *Л.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] *A.A. Kordyuk*. Fiz. Nizk. Temp. 41, 417,2015. [Low Temp. Phys. 41, 319, 2015].
[12] А.Л. Соловьев, В.М. Дмитриев. ФНТ33, 32, 2007.
[13] *A.L. Solovjov.* Superconductors–Materials, Properties and Applications.: Pseudogap and Local Pairs in High-Tc Supeconductors, *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. XXX №1,3-6, section: Az, 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. Lochmajer, 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, G.I. Isakov, J.A. Ragimov, G.A. Alieva

PSEUDO-GAP IN $Bi_2Sr_2ZnCu_2O_x$ HTSC MATERIAL

Analysis of the excess conductivity of the $Bi_2Sr_2ZnCu_2O_x$ sample within the framework of the local pair model made it possible to determine the temperature dependences of the pseudogap $\Delta^*(T)$.

For the $Bi_2Sr_2ZnCu_2O_x$ sample, the maximum value of the pseudogap is set.

В.М. Алиев, Г.И. Исаков, Дж.А. Рагимов, Г.А. Алиева

ПСЕВДОЩЕЛЬ В $Bi_2Sr_2ZnCu_2O_x$ ВТСП МАТЕРИАЛЕ

Анализ избыточной проводимости образца $Bi_2Sr_2ZnCu_2O_x$ в рамках модели локальных пар позволил определить температурные зависимости псевдощели $\Delta^*(T)$.

Для образца $Bi_2Sr_2ZnCu_2O_x$ установлено максимальное значение псевдощели.

Qəbul olunma tarixi: 17.04.2024