



@buxdu_uz



@buxdu1



@buxdu1



www.buxdu.uz

E-ISSN 2181-1466



9 772181 146004

ISSN 2181-6875



9 772181 687004

9(1)/2025

Научный вестник Бухарского государственного университета
Scientific reports of Bukhara State University



BUXORO DAVLAT UNIVERSITETI ILMIY AXBOROTI



9(1)/2025

Soatov A.Q., Turayev A.R.	Rux (Zn) bilan legirlangan kremniy asosidagi Shottki to'siqli diodning elektr xossalari va o'tuvchanlik mexanizmlari	76
Axmedjanov F.R., Tugalov F.B., Avdievich V.N.	Gamma-nurlangan litiy fluor kristallaridagi akustik to'lqinlarning xarakteristikasi	83
Худайназаров Ш.О.	Исследование собственных колебаний дымовых труб теплоэлектростанций с гасителями колебаний	88
Shaymanova F.Y.	Brans-Dikke nazariyasida zaryadlangan yumronqoziq inlarining barqarorlik tahlili: $\omega = 0$ holatida	95
Каримов И.М., Сабирова Р.А.	Численное моделирование высокоскоростного соударения сферической оболочки с упругопластическим грунтом	100
To'rayeva O'.F., Xusanova D.X., Egamberdiyev K.B., Mirzayev S.Z., Xalilov U.B.	Ni@NiO va NiO@Ni yadro-qobiq nanotuzilmalarining termodinamik barqarorligi: molekulyar dinamik tahlil	106
Turayev A.A., Kamolova O.A.	YBa ₂ Cu ₃ O _{7-δ} o'ta o'tkazuvchan materialining kristall tuzilishi va fizik xossalari	111
BIOLOGIYA *** BIOLOGY *** БИОЛОГИЯ		
Yusupova R.M.	Organik chiqindilarning parchalanish jarayoni	117
ADABIYOTSHUNOSLIK *** LITERARY CRITICISM *** ЛИТЕРАТУРОВЕДЕНИЕ		
Berdiyev X.X.	"Devonu lug'otit turk"dagi she'rlarda ma'naviy san'atlar	123
Белиева З.А.	Феномен поэтического пространства: город и природа в художественном тексте	127
Xolmurodov A.	Psixologik tasvir jozibasi	133
Ruziyeva N.K.	Vladimir Grigoryevich Gakning "Tarjima kursi" darsligida siyosiy matnlar tarjimasi	140
Ataqluva Sh.Sh.	Ingliz romanchiligi va uning o'zbek adabiyotiga ta'siri	144
Sohibova Z.N.	Bola shaxsiyatining shakllanishida peyzaj lirikasining ahamiyati	148
Daminova K.R.	Interpretation of the image of females in the science of literary studies	154

**YBa₂Cu₃O_{7-δ} O'TA O'TKAZUVCHAN MATERIALINING KRISTALL TUZILISHI
VA FIZIK XOSSALARI**

Turayev Akmal Atayevich,

Buxoro davlat universiteti

Fizika kafedrası professori, f.-m.f.f.d. (PhD)

a.a.turayev@buxdu.uz

Kamolova Oliyabonu Anvar qizi,

mustaqil izlanuvchi

Annotatsiya. Maqolada yuqori haroratli o'ta o'tkazuvchi YBa₂Cu₃O_{7-δ} ning yaratilish tarixi, kristall strukturasi modeli, fizik, elektr va magnit xossalari yoritilgan. Shuningdek, uning o'ta o'tkazuvchanlik harorati, anizotrop xususiyatlari hamda amaliy qo'llanilish sohalari tahlil qilingan. Ushbu tadqiqot YBaCuO ning fundamental ahamiyati va zamonaviy texnologiyalardagi istiqbolli o'rnini ko'rsatib beradi.

Kalit so'zlar: YBa₂Cu₃O_{7-δ}, o'ta o'tkazuvchanlik harorat (T_c), kislorod yetishmovchiligi (δ), anizotropiya, elektronlarning kuchli korrelyatsiyasi, CuO₂ qatlamlari, kristall tuzilishi, elektr o'tkazuvchanlik, magnit xususiyatlar, Mott izolyatori, spin fluktuatsiyalari, kritik magnit maydon (H_{c2}), kritik tok zichlig (J_c), Meissner effekti, tunnellanish, nozik plyonkalar, geterostrukturalar, nanoyig'malar, magnit levitatsiya, kvant elektronika, energiya tizimlari.

**КРИСТАЛЛИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА И ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА
СВЕРХПРОВОДНИКОВОГО МАТЕРИАЛА YBa₂Cu₃O_{7-δ}**

Аннотация. В статье рассмотрены история создания, кристаллическая структура и модель высокотемпературного сверхпроводника YBa₂Cu₃O_{7-δ}. Проанализированы его физические, электрические и магнитные свойства, температура сверхпроводящего перехода и анизотропные характеристики. Также обсуждаются области практического применения материала и его значение для современных технологий.

Ключевые слова: YBa₂Cu₃O_{7-δ}, высокотемпературные сверхпроводники, температура сверхпроводящего перехода (T_c), дефицит кислорода (δ), анизотропия, сильная электронная корреляция, слои CuO₂, кристаллическая структура, электрическая проводимость, магнитные свойства, изолятор Мотта, спиновые флуктуации, критическое магнитное поле (H_{c2}), критическая плотность тока (J_c), эффект Мейсснера, туннелирование, тонкие плёнки, гетероструктуры, наноструктуры, магнитная левитация, квантовая электроника, энергетические системы.

**CRYSTAL STRUCTURE AND PHYSICAL PROPERTIES OF THE YBa₂Cu₃O_{7-δ}
SUPERCONDUCTOR MATERIAL**

Abstract. The article discusses the history of the creation of the high-temperature superconductor YBa₂Cu₃O_{7-δ}, its crystal structure model, physical, electrical and magnetic properties. Its superconducting temperature, anisotropic properties and areas of practical application are also analyzed. This study demonstrates the fundamental importance of YBaCuO and its promising role in modern technologies.

Keywords: YBa₂Cu₃O_{7-δ}, superconducting temperature (T_c), oxygen deficiency (δ), anisotropy, strong electron correlation, CuO₂ layers, crystal structure, electrical conductivity, magnetic properties, Mott insulator, spin fluctuations, critical magnetic field (H_{c2}), critical current density (J_c), Meissner effect, tunneling, thin films, heterostructures, nanowires, magnetic levitation, quantum electronics, energy systems.

Kirish. O'ta o'tkazuvchanlik hodisasi ilk bor 1911-yilda golland olimi H. Kamerling Onnes tomonidan simob (Hg)da kashf etilgan bo'lib, u juda past haroratlarda (4 K) elektr qarshiligining butunlay yo'qolishini kuzatgan [1]. Keyingi o'n yilliklarda asosan metall va qotishmalar o'rganilgan bo'lsa-da, bunday materiallarning o'ta o'tkazuvchanlik xususiyati faqat suyuq geliy (-269 °C) sharoitida namoyon bo'lishi ularning amaliy qo'llanilishini sezilarli darajada cheklab qo'yar edi.

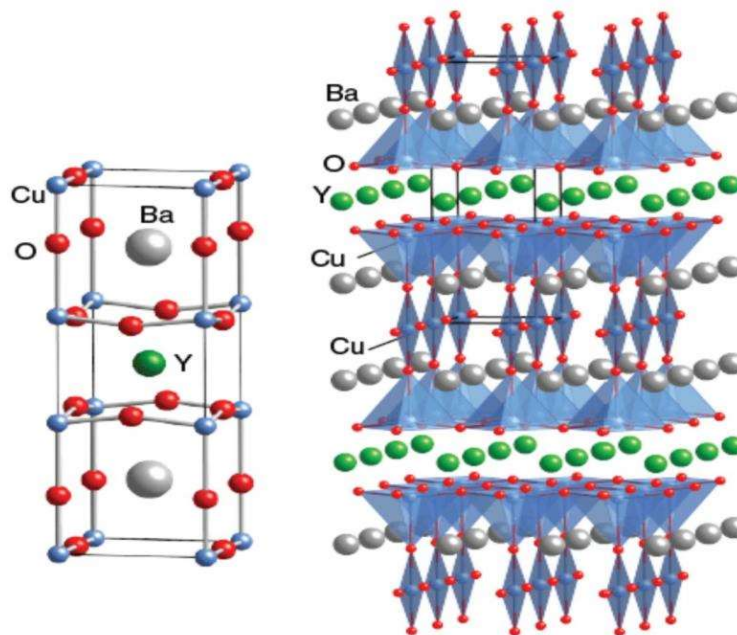
1986-yilda Y.Bednorz va K.Myuller perovskit tipidagi mis oksid birikmalarida (La-Ba-Cu-O) 30 K atrofida o'ta o'tkazuvchanlikni kuzatishga muvaffaq bo'lishdi [2]. Bu natija butun ilm-fan olamida katta

qiziqish uyg'otib, mualliflariga 1987-yilda Nobel mukofoti berildi. Bu o'z navbatida yuqori haroratli o'ta o'tkazuvchanlik tadqiqotlarining rivojlanishiga keng yo'l ochdi.

1987-yilda amerikalik olimlar guruhi P.Chu, M.K.Wu va hamkorlari Y-Ba-Cu-O tizimini sintez qilib, unda $T_c \approx 92\text{ K}$ da o'ta o'tkazuvchanlikni aniqlashdi [3]. Bu kashfiyot muhim burilish nuqtasi bo'lib, chunki endi o'ta o'tkazuvchanlik suyuqlangan azot ($-196\text{ }^\circ\text{C}$) sharoitida ham kuzatiladigan bo'ldi. Natijada $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ (YBCO) birikmasi yuqori haroratli o'ta o'tkazuvchilar sinfiga eng ko'p o'rganilgan materiallardan biriga aylandi. YBCO perovskit tipidagi kompleks oksid bo'lib, uning tuzilishi va o'ta o'tkazuvchanlik xususiyatlari kislorod miqdori δ qiymatiga bevosita bog'liqdir. $\delta \approx 0$ bo'lganda YBCO ortorombik fazada bo'lib, $T_c \approx 92\text{ K}$ da o'ta o'tkazuvchanlik kuzatiladi, δ oshib ketganda esa tetragonal fazaga o'tadi va o'ta o'tkazuvchanlik yo'qoladi [4].

Shu sababli, $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ ning tuzilishi, fizik xossalari va ularning kislorod konsentratsiyasiga bog'liqligini o'rganish yuqori haroratli o'ta o'tkazuvchanlik nazariyasi va amaliy qo'llanilishi uchun asosiy ilmiy yo'nalishlardan biri hisoblanadi.

Tadqiqot natijalari. $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ (YBCO) yuqori haroratli o'ta o'tkazuvchi bo'lib, perovskit tipidagi kompleks oksidlar sinfiga mansub bo'lib, uning kristall panjarasi uch komponentdan tashkil topgan: ittriy (Y), bariy (Ba) va mis (Cu) atomlari hamda kislorod ionlari. YBCO kristall panjarasi ortorombik simmetriyaga ega bo'lib, bunda $\delta \approx 0$ holatda o'ta o'tkazuvchanlik kuzatiladi. Panjara mis-oksidi qatlamlari (CuO), bariy va ittriy qatlamlari hamda qo'shimcha Cu–O zanjirlaridan tashkil topgan. Mis-oksidi qatlamlari elektronlarning ko'chishi va “Kuper juftlari” hosil bo'lishida asosiy rol o'ynaydi. δ qiymati ortib borsa (kislorod konsentratsiyasi kamayganda), struktura tetragonal fazaga o'tadi va o'ta o'tkazuvchanlik xususiyati yo'qoladi (1-rasm).



1-rasm. $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ o'ta o'tkazuvchan materialining kristall tuzilishi

Panjara elementlari.

Bariy (Ba^{2+}) ionlari – kislorodli qatlamlarni tashkil qiladi.

Mis ($\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}^{3+}$) – asosiy elektr o'tkazuvchi qatlamlarni tashkil etadi. Mis–kislorod zanjirlari va qatlamlari mavjud.

Kislorod (O^{2-}) ionlari – struktura barqarorligini va o'ta o'tkazuvchanlik xususiyatini belgilaydi.

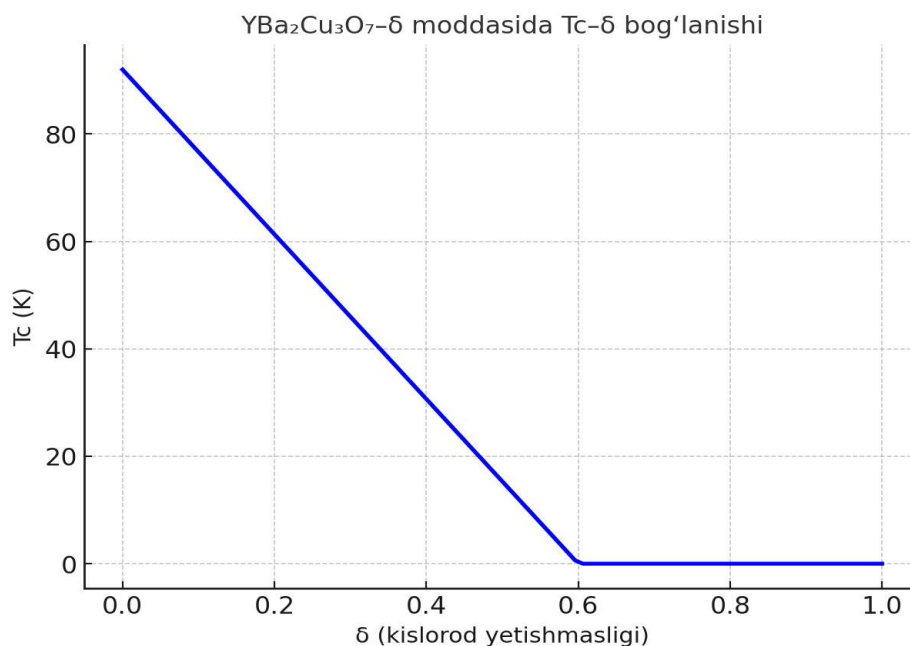
CuO_2 qatlamlari elektr tokini tashuvchi asosiy “yo'llar” hisoblanadi. Kislorod yetarli bo'lganda ($\delta \approx 0$), material o'ta o'tkazuvchan bo'ladi.

$\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ o'ta o'tkazuvchan materialining fizik xossalari o'ta o'tkazuvchanlik harorati (T_c): $\delta \approx 0$ bo'lganda $T_c \approx 93\text{ K}$ bo'ladi. δ oshishi bilan T_c pasayadi, $\delta > 0.6$ bo'lganda esa o'ta o'tkazuvchanlik butunlay yo'qoladi.

$\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ da δ - birlik formuladagi kislorod yetishmovchiligi. Oksid miqdori $x = 7 - \delta$ bilan ifodalanadi.

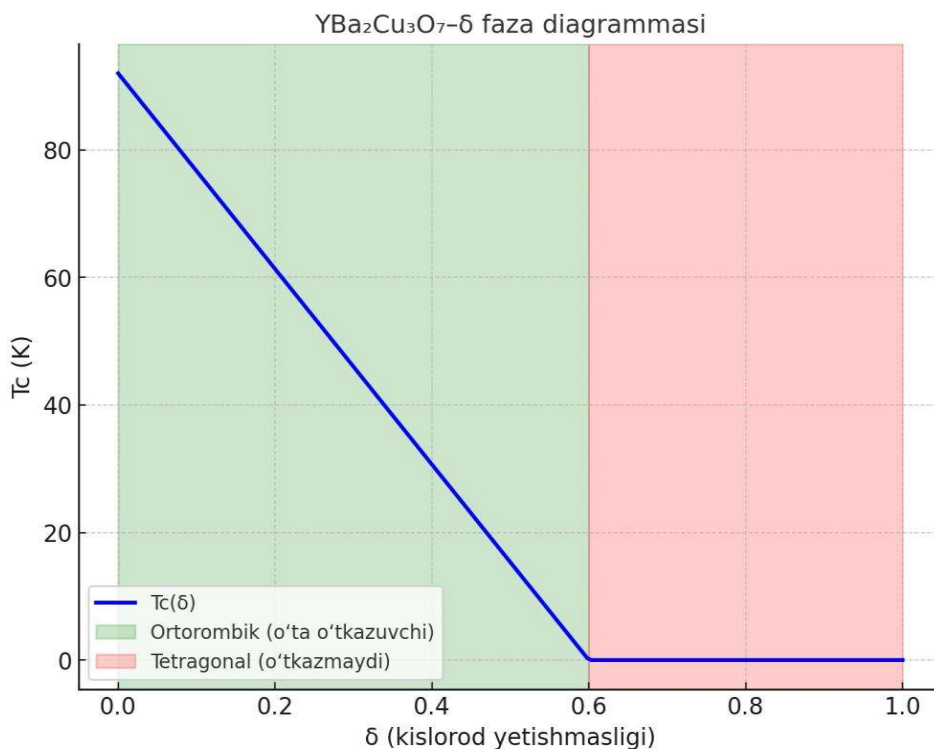
$\delta \approx 0 \rightarrow x \approx 7$ (to'liq kislorodlangan) — yuqori T_c ($\approx 93\text{ K}$).

$\delta \approx 1 \rightarrow x \approx 6$ bo'lganda o'ta o'tkazuvchanlik yo'qoladi, antiferromagnit izolatorga o'xshash faza hosil bo'ladi (2,3-rasm).



2-rasm. YBa₂Cu₃O_{7-δ} moddasining kritik harorati T_c ning δ ga bog'lanish grafigi [6]

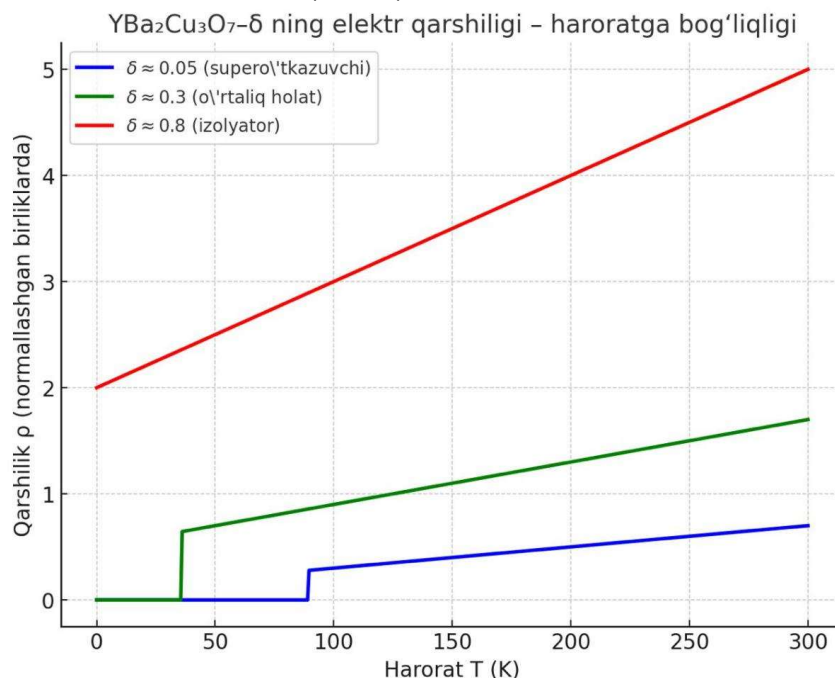
- $\delta = 0 \rightarrow T_c \approx 92$ K (maksimal o'ta o'tkazuvchanlik).
- δ oshgani sari T_c pasayadi.
- $\delta \approx 0.6$ dan katta bo'lsa $\rightarrow T_c \approx 0$ K, ya'ni o'ta o'tkazuvchanlik butunlay yo'qoladi.



3- rasm. YBa₂Cu₃O_{7-δ} ning faza diagrammasi

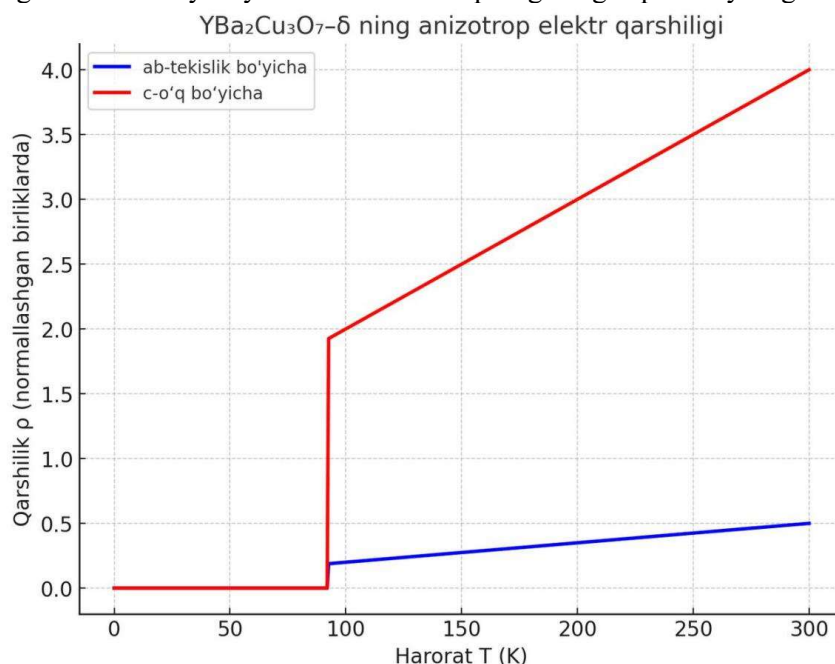
- $0 \leq \delta \leq 0.6 \rightarrow$ Ortorombik faza, T_c yuqori (o'ta o'tkazuvchi).
- $\delta \geq 0.6 \rightarrow$ Tetragonal faza, T_c ≈ 0 (o'ta o'tkazuvchanlik yo'q).

Elektr o'tkazuvchanlik: CuO_2 qatlamlari bo'ylab elektr o'tkazuvchanlik juda yuqori. Kristall panjaraning boshqa yo'nalishlarida o'tkazuvchanlik past bo'lib, material aniq anizotropik xususiyatga ega. Normal holatda T_c (≈ 90 K) dan yuqori haroratlarda YBCO metallga o'xshash elektr o'tkazuvchanlik ko'rsatadi: qarshilik harorat ortishi bilan ortadi (4-rasm).



4-rasm. YBa₂Cu₃O_{7-δ} ni elektr qarshiligidan haroratga bog'liqligi

Elektr o'tkazuvchanlikning asosiy yo'li CuO_2 qatlamlari bo'lib, bu qatlamlarda elektronlarning kuchli korrelyatsiyasi mavjud. (elektronlarning kuchli korrelyatsiyasi- CuO_2 qatlamlaridagi elektronlarning o'zaro kuchli ta'siri) Elektronlar asosan a b -tekislik bo'ylab harakatlanadi, chunki Cu 3d – O 2p orbitalari bu yo'nalishda kuchli gibridlanish hosil qiladi. c - o'q bo'yicha elektronlarning tunnellenishi sust kechadi, natijada qatlamlararo o'tkazuvchanlik a b -tekislikdagiga nisbatan ancha kichik bo'ladi. Natija: $\rho_{ab} \ll \rho_c$ (ya'ni ab tekislikdagi qarshilik c-o'qdagidan yuzlab marta kichik). YBCO da anizotropiya qatlamli kristall tuzilish, elektronlarning kuchli korrelyatsiyasi va kislorod miqdoriga bog'liq holda yuzaga keladi (5-rasm).



5-rasm. YBa₂Cu₃O_{7-δ} ning anizotrop elektr qarshiligi

Magnit xossalari: YBCO kuchli Meissner effekti namoyon qiladi, ya'ni tashqi magnit maydonni to'liq siqib chiqaradi. Meissner effekti: Tc dan past haroratlarda YBCO tashqi magnit maydonni siqib chiqaradi (diamagnetizm). Bu hodisa o'ta o'tkazuvchanlikning klassik belgisi hisoblanadi.

Kritik magnit maydonlar: YBCO kuchli II-tip o'ta o'tkazuvchi hisoblanadi.

Uchta kritik magnit maydon mavjud: H_{c1} – magnit oqimning kirish boshlanish nuqtasi, H_{c2} – o'ta o'tkazuvchanlikning to'liq yo'qolish nuqtasi, H_{c3} – sirt effekti tufayli kuzatiladigan yuqori chegaraviy maydon. Magnit oqim kvantlari (fluxons): II-tip o'ta o'tkazuvchilarda magnit maydon material ichiga kvantlangan vortexlar shaklida kiradi. YBCO da bu vortexlar CuO_2 qatlamlari orasida "pinlenadi" (qamalib qoladi), bu esa kritik tokning yuqori bo'lishini ta'minlaydi. Magnit xususiyatlar ham elektr xususiyatlari kabi anizotropikdir. ab-tekislik bo'ylab kritik magnit maydon qiymatlari c-o'qqa nisbatan yuqoriroq. Bu xususiyat uni magnit levitatsiya texnologiyalarida (maglev poyezdlar) qo'llash imkonini beradi.

Mexanik va strukturaviy xususiyatlar: YBCO mo'rt material bo'lib, uni amaliyotda ishlatish uchun ko'pincha yupqa qatlamlar yoki aralash kompozit shaklida tayyorlanadi. Kristall panjaraning mustahkamligi va o'ta o'tkazuvchanlik samaradorligi δ qiymatini aniq nazorat qilishga bog'liq.

$YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ ning amaliy ahamiyati. Yuqori haroratli o'ta o'tkazuvchilar ichida YBCO eng ko'p o'rganilgan va amaliy jihatdan qo'llanilayotgan materiallardan biridir. Uning ahamiyati bir nechta asosiy yo'nalishlarda namoyon bo'ladi: YBCO suyuq azotning qaynoq haroratidan (77 K) yuqorida ham o'ta o'tkazuvchan holatda ishlay oladi. Bu esa arzon va keng tarqalgan sovutgichlardan foydalanish imkonini beradi. Energetika sohasida yuqori tokli kabellar, transformatorlar, tok cheklagichlar, sezgir magnit oqim detektorlari (SQUID), mikroto'liqinli filtrlar, kvant hisoblash elementlarini ishlab chiqarishda keng qo'llaniladi.

YBCO elektronlarning kuchli korrelyatsiyasiga asoslangan o'ta o'tkazuvchanlik mexanizmini o'rganishda "model tizim" vazifasini bajaradi. Anizotropiya, Mott izolyatsiya fazasi, spin fluktuatsiyalari kabi hodisalarni tushunish uchun asosiy material sifatida qo'llaniladi.

Bugungi kunda $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ nafaqat fundamental tadqiqotlarda, balki energetika, transport, elektronika va kvant texnologiyalarida qo'llanilayotgan eng muhim yuqori haroratli o'ta o'tkazuvchi materiallardan biri hisoblanadi. YBCO strukturasi qatlamli tuzilishi va δ ning o'zgaruvchanligi tufayli bu material o'ta o'tkazuvchanlik nazariyasini chuqur o'rganishda "kalit model" hisoblanadi. Uning yuqori Tc qiymati va suyuqlangan azotda ishlash imkoniyati YBCO ni hozirgi kungacha eng ko'p tadqiq etilgan va amaliyotga eng yaqin yuqori haroratli o'ta o'tkazuvchi sifatida namoyon etadi.

Xulosa. Tadqiqot natijalari shuni ko'rsatadiki, $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ yuqori haroratli o'ta o'tkazuvchi sifatida o'zining noyob kristall tuzilishi, elektronlarning kuchli korrelyatsiyasi va anizotrop transport xususiyatlari bilan ajralib turadi. δ kislorod konsentratsiyasiga bog'liq ravishda materialning elektron holati keskin o'zgarib, Mott izolyatoridan o'ta o'tkazuvchi fazaga o'tishi kuzatiladi. Bu jarayon o'ta o'tkazuvchanlik mexanizmini tushuntirishda fundamental ahamiyatga ega bo'lib, an'anaviy BCS nazariyasidan farqli ravishda spin fluktuatsiyalari va kuchli korrelyatsiyalarga asoslangan yangi yondashuvlarni talab etadi. YBCO ning $T_c \approx 92$ K bo'lishi uni suyuq azot haroratida barqaror ishlash imkonini beruvchi eng istiqbolli materiallardan biriga aylantiradi. Bugungi kunda YBCO asosidagi nozik plyonkalar, geterostrukturalar va nanoyig'malar yuqori tok zichligiga ega kabellar, magnit levitatsiya tizimlari, sezgir magnit detektorlari hamda kvant elektronika qurilmalarida keng tatbiq etilmoqda. $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ o'ta o'tkazuvchan materiallari o'ta o'tkazuvchanlik hodisasining fundamental mexanizmlarini tadqiq qilish uchun model tizim vazifasini bajarib qolmay, balki energetika, transport va ilg'or kvant texnologiyalarida amaliy jihatdan katta istiqbolga ega bo'lgan material sifatida o'z ahamiyatini saqlab qolmoqda.

ADABIYOTLAR:

1. Djurayev D.R., Turayev A.A. "O'ta o'tkazgichlar fizikasi" darslik Buxoro-2022.
2. Гинзбург В.Л. Сверхпроводимость и сверхтекучесть // УФН, 1997, т.167, вып.4.
3. Шмидт В.В. Введение в физику сверхпроводников. //М.: Наука, 1982, 238 стр.
4. Antonova E.A., Dzhuraev D.R., Motulevich G.P., Sukhov V.A. Superconducting energy gap of niobium nitride. //Sov. Phys.-JETP (Engl. Transl.) ; (United States) 53 (6)
5. Motulevich G.P., Dzhuraev D.R., Antonova E.A., Sukhov V.A. Tunneling of current carriers inniobium nitride junctions. //JETP Lett. (Engl. Transl.);(United States) 36 (9).
6. Jorgensen J. D., Veal B. W., Paulikas A. P., Nowicki L. J., Crabtree G. W., Claus H. & Kwok W. K., "Structural properties of oxygen-deficient $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ " — Physical Review B, 41:1863–1877 (1990).
7. D.R. Dzhuraev Connection of electronic characteristics with superconducting parameters of compounds with A15, B1 and perovskite-type structures. // Uzbekiston Fizika jurnali 2003,5(1),15-23.

8. B.Y. Sokolov, DR Dzhurayev, KM Mukimov *Topology of superconducting cluster in HTSC ceramics.* // *Physica status solidi (b)* 225 (2), 353-359.
9. D.R. Dzhurayev, BY Sokolov *Superconducting cluster in YBa₂Cu₃O₇-ceramic.* // *Technical.*
10. H. K. Onnes, *Communications from the Physical Laboratory of the University of Leiden*, 1911.
11. J. G. Bednorz, K. A. Müller, *Zeitschrift für Physik B*, 1986.
12. Wu M. K., Ashburn J. R., Torng C. J., Hor P. H., Meng R. L., Gao L., Huang Z. J., Wang Y. Q., C. W. Chu, *Physical Review Letters*, 1987.
13. Chu C. W., *High-Temperature Superconductors*, Springer, 1992.
14. Джуряев Д.Р., Соколов Б.Ю. *Сверхпроводящий кластер в YBa₂Cu₃O₇- х керамике.* // *Журнал технической физики* 70 (5), 102-105
15. Джуряев Д.Р., ГП Мотулевич *Оптические свойства и электронные характеристики пленок нитрида ниобия со структурой В1.* // *Физика твёрдого тела* 27 (9), 2640-2646.
16. Джуряев Д.Р. *Связь электронных характеристик соединений со структурой перовскита, В1 и А15 с их сверхпроводящими параметрами* // *Узбекский физический журнал*, 2003, т. М5. - No 1. - С. 15-23.