



YUQORI HARORATLI O'TA O'TKAZUVCHANLIKNING TURLARI VA ULARNI ANIQ MISOLLARDA IFODALASH

Djurayev Davron Raxmonovich

Fizika matematika fanlari doktori. Professor

Jahonqulova Maftuna Jamshid qizi

10-1fiz24guruh magistranti

jahonqulova@gmail.com

<https://doi.org/10.5281/zenodo.19945378>

ARTICLE INFO

Qabul qilindi: 26-aprel 2026 yil

Ma'qullandi: 28-aprel 2026 yil

Nashr qilindi: 30-aprel 2026 yil

KEYWORDS

Yuqori haroratli o'ta o'tkazuvchilar (YuHO'O'), sovutish tizimi, suyuqlik azot, mexanik barqarorlik, kimyoviy barqarorlik, kupiratlar, tok zichligi, magnit maydon, sanoat ishlab chiqarish, super o'tkazuvchanlik mexanizmi, amaliy qo'llanilish muammolari.

ABSTRACT

Yuqori haroratli o'ta o'tkazuvchilarning amaliy qo'llanilishida bir qator muammolar mavjud. Ulardan eng muhimlari — cho'kishli sovutish tizimlarining zarurati va bu tizimlarning yuqori xarajatli ekanligi. Materialning mexanik va kimyoviy barqarorligi bilan bog'liq muammolar ham muhim ahamiyatga ega, chunki kupiratlar keramika bo'lib, ular sinuvchan va ularni sim yoki kabel shakliga keltirish qiyin. Shuningdek, yuqori tok zichligi va qattiq magnit maydon ostida ishlashda yuzaga keladigan cheklovlar ham amaliy qo'llanilish imkoniyatlarini kamaytiradi. YuHO'O'larning sanoat miqyosida ishlab chiqarilishi va yig'ilishi hali ham qimmatga tushadi, bu esa keng tarqalishiga to'siq bo'lmoqda. Bundan tashqari, ushbu materiallarning supero'tkazuvchanlik mexanizmi to'liq tushunilmaganligi yangi materiallar va texnologiyalarni yaratish jarayonini sekinlashtirmoqda.

O'ta o'tkazgichlar fizikasi fani bo'yicha 1911 yildan boshlab ham amaliy, ham nazariy ilmiy tadqiqot ishlari keng miqyosda olib borilmoqda. 1986 yilda yaratilgan metall oksidlari asosidagi yuqori haroratli o'ta o'tkazgichlarning paydo bo'lishi bu sohaning kelajagi yanada porloq ekanligidan dalolat berib, mazkur yo'nalishga bo'lgan e'tiborni yanada kuchaytirishga da'vat etdi. o'ta o'tkazuvchanlik fizikasi sohasidagi tadqiqotlar faqat past haroratlardagina olib borilishi kerakligi sababli, suyuq geliy, suyuq vodorod, suyuq azot va kislorod sovutgichlar bilan uzviy bog'langan. Demak, o'ta o'tkazuvchanlik sohasida amaliy tadqiqot ishlarini olib borish uchun past haroratli sovutuvchi muhitga ega bo'lish zarur ekan. Hozirgi kunda yetarlicha ko'p sonli YuHO'O' birikmalar qayd etilgan. Shuning uchun ba'zi hollarda bir nechta YuHO'O'ni hattoki sistemalarni o'z ichiga olgan bir nechta YuHO'O' sinflar haqida gapirish mumkin. Ular ham ancha ko'p. Quyida biz asosan mis oksidi asosidagi (kupratli) YuHO'O' sinflarni, kritik haroratlari bilan birga keltiramiz.

“Lantanli”

$La_{2-x}Ba_xCuO_4T_c = 30K$ (Bednors, Muller, 1986 yil, 1987 yildagi fizika sohasida nobel mukofoti lauriyatlarini). Ushbu birikma uchun $T_{maxc} = 40K$ ($x = 0,15$) bo'lganda.

“Ittriyli” yoki “1,2,3-sinf”

$Y_1Ba_2Cu_3O_{7-x}, T_c = 90K$, $x = 0,05 - 0,1$ bo'lganda T_c maksimal bo'ladi. Ittriyini amalda barcha lantonoidlar guruhi elementlar bilan almashtirish mumkin, bu hollarda kritik harorat T_c saqlanadi

“Vismutli”

$Bi_2Sr_2CuO_{4+2n}, T_c$ ($n=1,2,3,4, \dots$). $n=3$ bo'lganda kritik harorat T_c maksimal $T_c=110K$ bo'ladi. Vismutni qo'rg'oshin bilan ham almashtirish mumkin, ammo kritik harorat o'zgarmaydi.

“Taliyli”

$Tl_2Ba_2Ca_{n-1}CuO_{4+2n}$ ($n=1,2,3,4, \dots$). $n=3$ bo'lganda kritik harorat T_c maksimal $T_c = 127 K$ bo'ladi.

“Simobli”

$HgBa_2Ca_{n-1}CuO_{2+2n+\delta}, T_c$ ($n = 1,2,3, \dots$). $n = 3$ bo'lganda kritik harorat T_c maksimal $T_c = 135K$ bo'ladi. Mazkur birikmada kislorod xlor elementi bilan aralastirilganda, kritik haroratning qiymati $T_c = 138 K$ gacha oshishi kuzatildi, bu esa hozirgi kunda normal sharoitda olingan maksimal kritik haroratdir.

Ushbu birikmalarda bosimning oshishi bilan kritik harorat T_c ning ham oshishi kuzatiladi. Bosim $P=300$ ming atm. qiymatga yetganda $HgBa_2Ca_2Cu_3O_{8+\delta}$ birikmaning kritik harorati $164K$ bo'lishi aniqlandi.

Ushbu kritik haroratning qiymati bugungi kunda erishilgan eng yuqori kritik harorat hisoblanadi. Ushbu birikmalarning birinchi kimyoviy elementi misni oltin va kumushga ham almashtirsa bo'ladi. $CuBa_2Ca_2Cu_3O_{8+\delta}$ birikmadagi kritik harorat $T_c = 120 K$ ga teng. Umuman olganda ushbu birikmada birinchi element bo'lmasligi ham mumkin. $Ba_2Ca_2Cu_3O_{8+\delta}$ birikmadagi kritik harorat $T_c = 126 K$ ga teng. Haqiqatan ham ushbu birikmalar turg'un emas. Yuqorida keltirilgan birikmalardagi elementlarni turlicha formada almashtirish mumkin va bunda ular YuHO'O' ligicha qoladi.

Masalan:

Misni qisman $Co_3(Cu \rightarrow Co_3)$ kimyoviy guruh elementlari bilan almashtirish mumkin. Bu esa kupratli oksikarbonatlarni hosil qiladi;

Kupratli oksigalogenadlar ham almashtirishi mumkin. Bundan boshqa almashtirishlar ham mavjud. Qizig'i shundaki T_c bunday almashtirishlardan o'shishi ham mumkin. Yuqorida keltirilgan birikmalar kovalent bo'lib unda Xoll effekti musbat bo'ladi.

Biroq elektronli kupratli YuHO'O' lar ham bor ularda Xoll effekti manfiy va ularning kritik harorati pastroq bo'ladi.

Masalan, $Nd_{2-x}CexCuO_4$ birikmasini keltircak, unda $x=0,15$ bo'lganda kritik haroratning qiymati maksimal $T_c=24K$ ga teng bo'lib, strontsiy qo'shilganda T_c ning qiymati $28K$ gacha oshishi kuzatildi. Nd elementi Nb va Tm bilan almashtirilganda hamda kal'tsiy bilan ligerlaganda $T_c=30K$ ga etishi kuzatildi. Va nihoyat maxsus “cheksiz qatlamli” – “infinite layer” bo'lgan $SrCuO_2$ birikmasining tuzilmasi turg'un bo'lmaydi, kal'tsiy aralastirilganda esa ushbu birikma stabillashadi. $Sr_{1-x}CaxCuO_{2-\delta}$ birikmada x va δ indeksni o'zgartirib ushbu birikmani kovakli yoki elektronli qilib ham tayyorlash mumkin. Qiziqarlisi shundaki, kovakli birikmalarda $T_c=110-120K$, elektronlilarda esa $T_c=40K$. Ammo bunda tuzilma turi o'zgarishligicha qoladi.

Vismutli oksidli YuHO'O'.

Vismutli oksidlar yuqori kritik parametrlarga ega bo'lsa ham, ular kupratlilarga nisbatan ancha past bo'lishiga qaramasdan printsiptardir. U nafaqat $Cu-O$ bog'lanish birikmalarida yuqori T_c ga olib kelishini isbotlaydi. Bundan tashqari bunday guruhdagi YuHO'O' birliklarda magnit momentlarining bo'lmasligi ular o'ta o'tkazuvchanligini magnit o'zaro ta'sir asosida bo'lish mumkinligini oldini oladi. Yana bir qiziqarli holat, ushbu YuHO'O' kubsimon tizilmaga ega, bu esa ularni qatlamli kupratli YuHO'O'lardan ajratib turadi.

Fulleridlar.

Fulleridlar (fullerides)–bu metallarning $C60$ fullerenlar bilan birikmasidir. Qayd etildiki, $M3C60$ birikmalar deyarli yuqori haroratli T_c ga ega bo'lgan o'ta o'tkazgichlardir. Bu erda M – ishqorli metallar yoki ularning kombinatsiyasi. YuHO'O'lar tarkibiga bunday birikmalarning kiritilishi $Rb3C60$ ($T_c=30K$) va $Cs3C60$ ($T_c=30K$) birikmalarning sintezlanganidan so'ng amalga oshdi.

Karbitlar.

Ko'p sonli karbitlar sinfidan oxirgi paytlarda T_c harorati maksimal bo'lgan ($T_c=23K$) birikma $YPb2B2C$.

MgB2.

2001 yilda 1945 yildan ma'lum bo'lgan $MgB2$ birikmasida ham $T_c\approx 40K$ haroratli YuHO'O' ekanligi qayd etildi. Ushbu YuHO'O' oxirgi paytdagi e'tibor ko'p qilinayotgan birikmadir. Haqiqatdan ham u qator g'ayri oddiy xossalarga ega. Ular orasida ikkita o'ta o'tkazuvchan tirqishning mavjudligini alohida qayd etish lozim. Kritik haroratni oshirish mumkinmi? degan savolga javob berish maqsadida ko'plab ishlarda hozirgi kunda rekord T_c dan ham yuqori haroratlarda o'ta o'tkazuvchanlik holati kuzatilgani va ushbu o'ta o'tkazgichlar bir jinsli bo'lmagan, ya'ni bir fazali bo'lmagani, odatda yuqori solishtirma qarshilikka ega va o'ta o'tkazuvchanlik xossasining ma'lum vaqtdan so'ng yo'qolishini ko'rsatmoqda. Ushbu holdagi natijalarni takrorlash imkoniyati mavjud emas.

Ma'lumki, elementar zarralar fizikasida atom osti zarralarini tadqiq etish uchun ularni Yuqori -energetik tadqiq etish kerak, bu esa zarrani yorug'lik tezligiga yaqin tezliklarda tezlatish zarrurligidan dalolat beradi. Ushbu jarayonni amalga oshirish uchun faqatgina o'ta o'tkazuvchan magnitliklar ko'maklashishi mumkin. Shuning uchun Evropa hamjamiyati hamkorligida Frantsiya - Shvetsiya chegarasida barpo etilgan katta Adronli kollyayder, proton-antiproton kollyayderi Fermi laboratoriyasida, elektron-proton kollyayderi Germaniyada va og'ir-ion kollyayderi Bruksel laboratoriyasida ishlamoqda. Mazkur kollyayderlarda o'ta o'tkazuvchan magnitliklar yuqori haroratli o'ta o'tkazuvchan materiallar asosidagisiga almashtirish bo'yicha ham nazariy, ham amaliy tadqiqotlar olib borilmoqda.

Ma'lum bo'lgan o'ta o'tkazgichlar uchun, hech bo'lmaganda ko'pgina hollar uchun elektronlar orasidagi tortishish ularning panjara bilan o'zaro ta'sir bilan shartlangan. Kvant tilida esa elektronlar orasidagi o'zaro ta'sir fononlar bilan almashinuv hisobidan amalga oshiriladi.

Fonon mexanizmida elektronlarga panjara ta'sirining mavjudligi, xususiyl holda ular orasidagi tortishuvning b0'lishi, faqatgina eng yuqori fononlar chastotasi ionlar uchun plazmali chastota tartibi bilan aniqlanadi. Insoniyat uchun zarur bo'lgan nihoyatda katta, ulkan elektro energiyani tahminan 108 megavatt yoki yiliga ming eksajoul'ni (eksa 1018 ga kupaytirishni bildiradi) umuman olganda yadroviy, quyosh va geotermal energiya zaxiralari hisobidan ishlab

chiqarish mumkin, ularning manbai bitmas tugamasdir. Kelajak energiyasi uchun uni ishlab chiqarish bilan birga narxi ham muhimdir.

Bunday optimal holatda ishlaydigan energiya manbailaridan asosiysi, bu boshqariladigan termoyadro sintezi qurilmasidir (UTS). Tadqiqotlar shuni k0'rsatdiki, yerda "Yulduzli" ammo boshqariladigan termoyadroviy reaksiyani amalga oshirishda, aynan, shu yerda fundamental fan ixtirochilik bilan q0'shilib ketadi, shuning uchun k0'pincha UTSni "sanoat fizikasi" deb atashadi.

Past haroratlar fizikasida insoniyat uchun zarur bo'lgan mavjud muammolardan biri bu qattiq vodorodli yuqori haroratli o'ta o'tkazgichlarni olish masalasidir. Yirik muammolardan biri bo'lgan energetika masalasini o'ta o'tkazgichlar ishtirokisiz tasavvur etish mumkin emas. Fononli mexanizm orqali faqatgina kritik harorati taxminan 40 Kel'vin atrofida bo'lgan o'ta o'tkazuvchanlikni nazariy tushuntirish mumkin xolos.

Ekstonli va bipolyaronli mexanizmlar orqali yuqori kritik haroratlarni olinishini asoslash mumkin, ammo ba'zi yuqori haroratli o'ta o'tkazgichlarda kuzatiladigan xossalarni tushuntirish imkoniyatlari mavjud emas.

Yuqori haroratli o'ta o'tkazuvchanlikni tadqiqot ishlarida xalqaro va fanlararo hamkorlik zarurdir.

Bizning Quyoshli ulkada Quyosh energiyasidan foydalanishni o'ta o'tkazgichlar ishtirokida amalga oshirilishi katta samaralarga olib kelishi mumkin. Alternativ va qayta tiklanadigan energiya manbaalaridan foydalanishni o'ta o'tkazgichlarni qo'llash orqali amalga oshirishi, bu ekologik toza va samarali texnik yechimlarni berishi mumkin.

1962 yilda Brayan Jozefson tomonidan kashf etilgan Jozefson effekti o'ta yuqori sezgirlikka ega bo'lgan elektromagnit qayd etgichlarni yaratish imkoniyatini bergan bo'lsa, uning juda katta amaliy ahamiyatga ega ekanligi hozirgi kundagi fan va texnikaning rivojlanishida namoyon bo'lmoqda.

1986 yilda Karl Myuller va Georg Bednorts yangi turdagi yuqori haroratli o'ta o'tkazgichlar (YuHO'O') deb nomlanadigan o'ta o'tkazgichlarni kashf etishdi. Agar **1987** yilning boshlarida lantan-strontsiy-mis-kislorod (La-Sr-Cu-O) birikmasida 36 K da qarshilik nolgacha kamaygan bo'lsa, ittriy-bariy-mis-kislorod (Y-Ba-Cu-O) birikmasi uchun esa 94K da qarshilik nolgacha kamaydi.

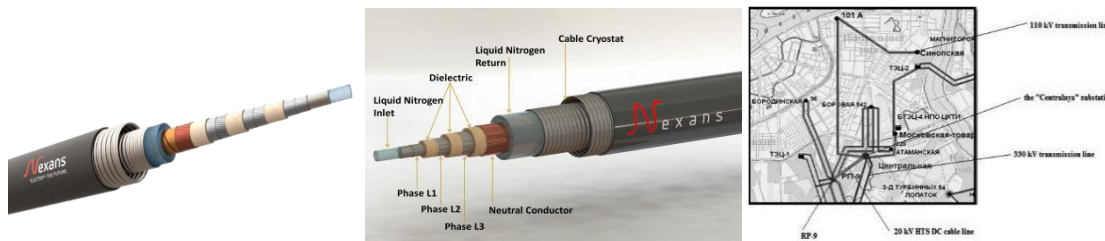
Uzoq vaqtdan beri yuqori haroratli o'ta o'tkazuvchanlik (YuHO'O') ni o'rganish davom etib kelinayotganligini e'tiborga olib, ushbu davrni shartli ravishda ikki bosqichga bo'lgan holda, ularga mos ravishda «tarixga qadar» va «tarixiy» nomlar bilan atash mumkin. Birinchi bosqich Ginzburg va Littlning ilk ishlaridan, ya'ni YuHO'O' ni elektronlarning fononlar bilan emas, fononlar energiyasidan ancha katta bo'lgan elektron qo'zg'alishlar bilan o'zaro ta'siri hisobidan mavjud bo'lishi mumkinligidan boshlangan edi. Organik birikmalardagi YuHO'O' lik fikrining o'zi **1950** yildayoq London tomonidan ilgari surilgan edi va faqat **14** yildan so'ng Ginzburg va Littl bir-biri bilan bog'lanmagan holda metall bo'lmagan sistemalarda YuHO'O' lik bo'lishimomkinligini nazariy asoslashdi.

Amaliy qo'llanilish sohalari

Quyida YuHO'O'larning amalda qo'llanilayotgan yoki potentsial qo'llanilishi mumkin bo'lgan sohalari keltirilgan, har biri bilan birga misollar va izohlar:

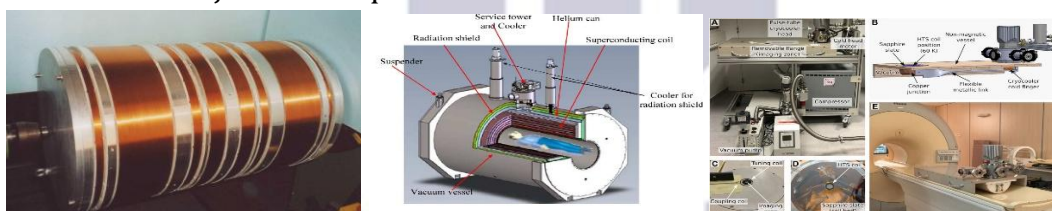
1. Elektr tokini uzatish va quvvat tizimlari

- ✓ YuHO'O'lar odatiy mis yoki alyuminiy kabellariga nisbatan tokni yo'qotishsiz o'tkazish imkonini beradi.
- ✓ Masalan, shahar markazlarida joy cheklangan joylarda yuqori toklarni oz joyda uzatish uchun "supero'tkazuvchi kabel" samarali.
- ✓ Biroq, sovutish xarajatlari, materialning mexanik mustahkamligi va uzun muddatli barqarorligi hali ham amaliy cheklolardandir.



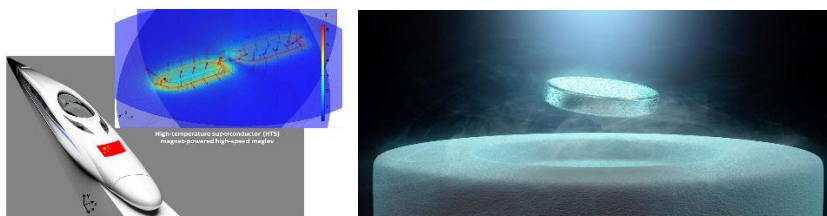
2. Magnit rezonans tasvirlash — MRI

- MRI apparatlari yuqori kuchli magnit maydon yaratadi va bu maydonni yaratishda supero'tkazuvchan magnitlar qo'llaniladi.
- YuHO'O' materiallari sovutish jihatdan nisbatan yengilroq (masalan, suyuq azot bilan) b'lsa, operatsion xarajatlar kamayishi mumkin.
- Hozircha ko'p MRI tizimlari kam haroratli supero'tkazuvchilardan foydalanadi — YuHO'O'lar esa rivojlanish bosqichida.



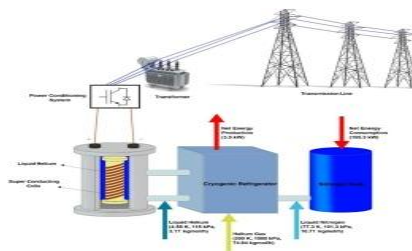
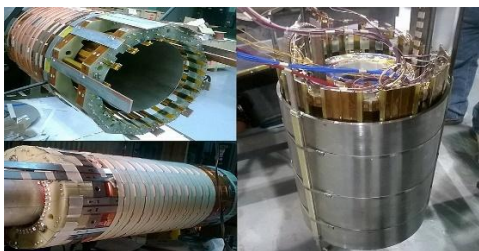
3. Magnit levitatsiya — Maglev transport

- YuHO'O'lardan foydalanilgan magnitlar yordamida poezd yoki transport vositalarini "levitatsiya" holatida harakatlantirish mumkin, ya'ni rels bilan fizik aloqa kamroq bo'ladi va shovqin va shikastlanish kamayadi.
- Masalan, Xitoyda maglev poezd loyihalarida HTS magnit texnologiyalari qo'llanilishi bo'yicha tadqiqotlar bor.
- Lekin amalda keng tarqalgan tizimlar hali cheklangan, chunki infratuzilma va sovutish muammolari katta



4. Energiya saqlash — Superconducting Magnetic Energy Storage (SMES)

- ✓ YuHO'O'lardan tayyorlangan o'tkazuvchilar orqali yaratilgan magnit koilida tok saqlanib, bu "magnetik energiya"ni deyarli yo'qotishsiz saqlash mumkin.
- ✓ Masalan, sezilarli tok zarbalarini tez berish yoki qattiq ehtiyojlarda qo'llanishi mumkin.
- ✓ Hozir esa SMES tizimlar katta hajmli va sovutish tizimi xarajatlari yuqori — sanoat bo'yicha keng qo'llanilishi hali cheklangan.



Amaliy qo'llanishda duch kelinadigan muammolar

- ❖ Cho'kishli sovutish tizimlari: YuHO'O' hamon sovutishni talab qiladi (masalan, suyuq azot 77 K). Bu sovutish tizimi ham xarajatli.
- ❖ Materialning mexanik va kimyoviy barqarorligi: Kupiratlar (keramik) material bo'ladi, ular qattiq, sinuvchan. Ularni sim, kabel holatiga keltirish qiyin
- ❖ Tok zichligi, maydon kuchi va qattiq magnit maydon ostida ishlash: Amaliy foydalanishda YuHO'O'ning kritik tok zichligi va kritik magnit maydon pastligi cheklov bo'ladi.
- ❖ Qiymat va sanoat miqyosiga moslashuv: YuHO'O'ni keng miqyosda ishlab chiqarish — material tayyorlash, sovitish, yig'ish — hali ham yuqori xarajatli.
- ❖ Tadqiqot bosqichi: YuHO'O'larning mexanizmi hali to'liq tushunilmagan, bu esa yangi materiallar va ishlab chiqarish texnologiyalarini sekinlashtiradi.

Xulosa: Yuqori haroratli o'ta o'tkazuvchilar ilmiy va amaliy jihatdan katta istiqbollar va imkoniyatlarga ega bo'lsa-da, ularning keng qo'llanilishida hali bir qator muammolar mavjud. Sovutish tizimlarining murakkabligi va yuqori xarajatlari, materiallarning mexanik va kimyoviy barqarorligidagi cheklovlar, tok zichligi va magnit maydon ostidagi ishlash chegaralari hamda ishlab chiqarish va yig'ish jarayonlarining qiyinchiliklari sanoat miqyosida YuHO'O'larning keng tarqalishiga to'siq bo'lmoqda. Shuningdek, supero'tkazuvchanlik mexanizmining to'liq tushunilmaganligi yangi materiallar yaratish va texnologiyalarni rivojlantirishni sekinlashtirmoqda. Shu sababli, ushbu sohada yanada chuqurroq tadqiqotlar olib borish, yangi materiallar va samaraliroq sovutish usullarini ishlab chiqish amaliy qo'llanilishni kengaytirish uchun muhimdir.

Foydalanilgan adabiyotlar:

1. Рыков С.А. СПб Наука.: 2001. "Сканирующая зондовая микроскопия полупроводниковых материалов и наноструктур".
2. Нанотехнология. Азбука для всех. Под ред.Третьякова Ю.Д. М.: Физматлит, 2008.
3. Трефилов В.И., Чур Д.В., Тарасов Б.П. Киев: АДЕФ Украина, 2001. "фуллерены основа материалов будущего.
4. Фиалков А.С. М.: Аспект Пресс, 1997. "Углерод, межслоевые соединения и композиты на его основе"
5. Харрис П. М.: Техносфера. 2003 "Углеродные нанотрубки и родственные структуры. Новые материалы XXI века."
6. Чаплигин А.Н. М.: Техносфера. 2005. "Нанотехнология в электронике"
7. Шевченко В.Я. М.: ЛКИ 2008. "Белая книга по нанотехнологиям"
8. Яминский. И.В. М.: Научный мир, 1997. "Сканирующая зондовая микроскопия биополимеров
9. <http://www.elementy.ru/trefil>
10. <http://www.sciencemag.org/cgi/content>
11. <http://www.perst.issph.kiae.ru/inform>

12. Poole, Charles P., et al. Superconductivity. Academic Press, 2007.
13. Gurevich, A. "Challenges and Opportunities in High-Temperature Superconductors." Nature Materials, vol. 10, no. 6, 2011, pp. 255–259.



INNOVATIVE
ACADEMY