

**ПОЛИМЕРЛАР КИМЁСИ ВА ФИЗИКАСИ ИНСТИТУТИ
ҲУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ
DSc.02/30.12.2019.К/ФМ/Т.36.01 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ
АСОСИДА БИР МАРТАЛИК ИЛМИЙ КЕНГАШ**

ЎЗБЕКИСТОН МИЛЛИЙ УНИВЕРСИТЕТИ

БОЙМУРАТОВ ФАХРИДДИН ТОҒАЙМУРАДОВИЧ

**ТАРКИБИДА НИКЕЛЬ НАНОЗАРРАЧАЛАРИ БЎЛГАН
КОМПОЗИЦИОН ПОЛИМЕР МАТЕРИАЛЛАРНИНГ
ЭЛЕКТР ХУСУСИЯТЛАРИ**

**01.04.06 – Полимерлар физикаси
02.00.12-Нанофизика, нанокимё ва нанотехнология**

**ФИЗИКА-МАТЕМАТИКА ФАНЛАРИ БЎЙИЧА ФАЛСАФА ДОКТОРИ
(PhD) ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ**

Тошкент – 2021

**Физика-математика фанлари бўйича фалсафа (PhD) доктори
диссертацияси автореферати мундарижаси**

**Оглавление автореферата диссертации
доктора философии (PhD) по физико-математическим наукам**

**Contents of dissertation abstract of doctor of philosophy (PhD) on
physical - mathematical sciences**

Боймуратов Фахриддин Тоғаймурадович Таркибида никель нанозаррачалари бўлган композицион полимер материалларнинг электр хусусиятлари	3
Боймуратов Фахриддин Тоғаймурадович Электрические свойства композиционных полимерных материалов, содержащих наночастицы никеля.....	21
Boymuratov Fakhriddin Togaymuradovich Electrical properties of composite polymer materials containing nickel nanoparticles	39
Эълон қилинган ишлар рўйиҳати Список опубликованных работ List of published works	43

**ПОЛИМЕРЛАР КИМЁСИ ВА ФИЗИКАСИ ИНСТИТУТИ
ҲУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ
DSc.02/30.12.2019.К/ФМ/Т.36.01 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ
АСОСИДА БИР МАРТАЛИК ИЛМИЙ КЕНГАШ**

ЎЗБЕКИСТОН МИЛЛИЙ УНИВЕРСИТЕТИ

БОЙМУРАТОВ ФАХРИДДИН ТОҒАЙМУРАДОВИЧ

**ТАРКИБИДА НИКЕЛЬ НАНОЗАРРАЧАЛАРИ БЎЛГАН
КОМПОЗИЦИОН ПОЛИМЕР МАТЕРИАЛЛАРНИНГ
ЭЛЕКТР ХУСУСИЯТЛАРИ**

**01.04.06 – Полимерлар физикаси
02.00.12-Нанофизика, нанокимё ва нанотехнология**

**ФИЗИКА-МАТЕМАТИКА ФАНЛАРИ БЎЙИЧА ФАЛСАФА ДОКТОРИ
(PhD) ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ**

Тошкент – 2021

Физика-математика фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги Олий аттестация комиссиясида В2020.2. PhD/FM170 рақам билан рўйхатга олинган.

Диссертация Мирзо Улуғбек номидаги Ўзбекистон Миллий Университетида бажарилган.

Диссертация автореферати уч тилда (ўзбек, рус, инглиз (резюме)) Илмий кенгаш веб-саҳифасида (polchemphys.uz) ва «ZiyoNet» Ахборот-таълим порталида (www.ziynet.uz) жойлаштирилган.

Илмий раҳбар: **Абдурахманов Умарбек**
физика-математика фанлари доктори, профессор

Расмий оппонентлар: **Зайнабидинов Сирожиддин Зайнабидинович**
физика-математика фанлари доктори, профессор, Ўз РФА академиги.

Холмуминов Абдулфаттох Ахатович
физика-математика фанлари доктори, профессор

Етакчи ташкилот: Тошкент давлат техника университети

Диссертация химояси Полимерлар кимёси ва физикаси институти ҳузуридаги илмий даражалар берувчи DSc.02/30.12.2019.K/FM/T.36.01 рақамли Илмий кенгашнинг 2021 йил «__» _____ соат __ даги мажлисида бўлиб ўтади. (Манзил:100128, Тошкент шаҳри, А.Қодирий кўчаси,7^б. тел. (+99871) 241-85-94, факс (+99871) 244-26-61, e-mail: polymer@academy.uz)

Диссертация билан Полимерлар кимёси ва физикаси институтининг Ахборот-ресурс марказида танишиш мумкин. (__ рақами билан рўйхатга олинган.) (Манзил:100128, Тошкент шаҳри, Абдулла Қодирий кўчаси,7^б. тел. (+99871) 241-85-94)

Диссертация автореферати 2021 йил «__» _____ куни тарқатилди
(2021 йил «__» _____ даги __ рақамли рестр баённомаси.)

С.Ш.Рашидова

Илмий даражалар берувчи бир марталик Илмий кенгаш раиси, к.ф.д., профессор, академик

М.М.Усманова

Илмий даражалар берувчи бир марталик Илмий кенгаш котиби, к.ф.н., катта илмий ходим

С.С.Негматов

Илмий даражалар берувчи бир марталик илмий кенгаш қошидаги илмий семинар раиси, т.ф.д., профессор, академик

КИРИШ (фалсафа доктори (PhD) диссертацияси аннотацияси)

Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати. Жаҳонда турли хил соҳаларда кенг қўлланиладиган таркибида металл нанозаррачалари тутган махсус хоссаларга эга бўлган материаллар яратиш алоҳида ўрин эгаллайди. Бир жинсли бўлмаган тизимлар асосида таркибида металл нанозаррачалари тутган муҳим электр хусусиятларга эга композицион полимер материалларни яратиш алоҳида аҳамият касб этади.

Бугунги кунда жаҳонда таркибида металл нанозаррачалари тутган бир жинсли бўлмаган материалларни яратиш ва хоссаларини тадқиқи қилиш бўйича илмий-тадқиқот ишлари олиб борилмоқда. Ушбу материалларнинг оқувчанлик чегараси соҳасида уларда заряд ташувчиларнинг электр ўтказувчанлик механизми ҳамда уларнинг электрофизик хоссаларининг ўзгариш қонуниятларини аниқлаш, бундай тизимларда заряд ташувчиларнинг ўтказувчанлик ҳолатини тушунтирувчи энергетик модел яратиш, ҳамда бундай тизимларда чексиз кластер топологиясини аниқлаш ҳамда бундай муаммоларнинг ечимини топишда аниқ тасавурларга эга бўлиш зарур.

Республикамизда маҳаллий хом ашёлар асосида импорт ўрнини босувчи ва экспортга мўлжалланган маҳсулотлар яратишни ривожлантиришнинг илмий-амалий тадқиқига доир тадқиқотларга алоҳида эътибор берилмоқда. Жумладан, илмий изланишларни юқори даражада ташкил этиш ҳамда иқтисодий ўсиш суръатларини сақлаш ва маҳаллий ишлаб чиқаришни қўллаб-қувватлаш бўйича кенг қамровли чора-тадбирлар амалга оширилиб, рақобатбардош композицион полимер маҳсулотларни ишлаб чиқариш борасида муҳим натижаларга эришилмоқда. Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегиясида¹ «...маҳаллий хомашё ресурсларини чуқур қайта ишлаш асосида юқори қўшимча қийматли тайёр маҳсулот ишлаб чиқариш...» бўйича вазифалари белгилаб берилган. Бу борада, таркибида никель нанозаррачалари тутган композицион полимер материалларнинг электр ўтказувчанлигини, диэлектрик сингдирувчанлигини, иссиқлик ўтказувчанлигини ва термо-электр юритувчи кучлари металл микро- ва нано заррачалари миқдорига боғлиқ ҳолдаги янги материаллар яратишга йўналтирилган илмий-амалий тадқиқотлар муҳим аҳамиятга эга.

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги ПФ-4947-сонли “Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш ҳаракатлар стратегияси тўғрисида»ги Фармони, 2018 йил 25 октябрдаги ПҚ, 3983-сонли «Ўзбекистон Республикаси кимё саноатини жадал ривожлантириш чора-тадбирлари тўғрисида»ги қарорлари, 2020 йил 12 августдаги ПҚ-4805-сонли “Кимё ва биология йўналишларида узлуксиз таълим сифатини ва илм-фан

¹ Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги ПФ-4947-сон «Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича ҳаракатлар стратегияси тўғрисида» Фармони.

натижадорлигини ошириш чора-тадбирлари тўғрисида”ги қарорлари шунингдек, мазкур фаолиятга тегишли бошқа меъёрий-ҳуқуқий ҳужжатларда белгиланган вазифаларни амалга оширишга ушбу диссертация тадқиқоти муаян даражада хизмат қилади.

Тадқиқотнинг Республика фан ва технологиялари ривожланишининг асосий уствор йўналишларига мослиги. Мазкур тадқиқот республика фан ва технологиялар ривожланишининг VII. «Кимёвий технологиялар ва нанотехнологиялар» уствор йўналишига мувофиқ бажарилган.

Муаммонинг ўрганилганлик даражаси. Дунёнинг кўпгина мамлакатларида таркибида металл нанозаррачалари тутган биржинсли бўлмаган материалларни олиш бўйича илмий изланишлар жадаллик билан олиб борилмоқда. Чоп этилган нашрларнинг кўпчиллиги таркибида металл нанозаррачалари тутган бир жинсли бўлмаган материалларни электрофизик хусусиятларини ўрганишга бағишланган. Ушбу йўналишдаги илмий тадқиқотларнинг назарий ва амалий муаммоларини ўрганиш бўйича илмий йўналишни ривожлантиришга Кособудский И.Д., Козинкин А.В., Афанасов М.И., Попова Н.А., Север О.В., Юрков Г.Ю., Губин С.П., Панкратов Д.А., илмий мактаблар катта ҳисса қўшишган.

Республикамизда ушбу йўналиш ривожланишига Негматов С.С., Рашидова С.Ш., Ашуров Н.Р., Сарымсаков А.А., Атаханов А.А., Абдурахманов У., Умаров А.В ва бошқа ўз ҳиссаларини қўшишган.

Охириги йилларда адабиётларда чет эл олимларининг қатор ишлари пайдо бўлдики, уларда оқиш чегарасидан пастда таркибида (Fe; Ni) нано металл заррачалари бўлган бир жинсли бўлмаган материаллар (матрицаси керамика, полимер, шиша) ўтказувчанлигини перколяцион назария доирасида тушунтириб бўлмаслиги кўрсатилган. Ушбу муаммо яъни, таркибида металл нанозаррачалари тутган материалларни олиш ва улардан фойдаланиш соҳаларини кенгайтириш бўйича I. Balberg, D. Azulay, D. Toker and O. Millo ва бошқа олимларнинг илмий ишларида етарлича муҳокама қилинганлигини таъкидлаб ўтиш зарур.

Ушбу изланишларга қадар адабиётларда таркибида металл заррачаларининг ўлчами турлича бўлган моддаларнинг электрофизик хоссаларининг ҳолатини нанозаррачалар миқдорига боғлиқлигини аниқлаш ва амалиётга тадбиқ қилиш бўйича илмий тадқиқот ишлари кам олиб борилган. Ҳозирги вақтда бундай тизимлардаги электрофизик ўзгариш қонуниятларини етарлича таҳлил қилиш янги соҳалар истиқболларини юзага келтиради.

Тадқиқотнинг диссертация бажарилган илмий-тадқиқот муассасасининг илмий тадқиқот ишлари режалари билан боғлиқлиги. Диссертация тадқиқотлари Ўзбекистон Миллий Университети илмий тадқиқот ишлар режасининг ОТ-Ф2-050 «Оқувчанлик чегараси соҳасида таркибида металл нанозаррачалари бўлган композит материалларнинг электрофизик хоссалари хусусиятлари» (2007-2011й), К-12-004

"Композицион наноматериаллар: таҳлили ва белгиланган физик хусусиятли элементлар олиними" (2015-2017й) мавзуларидаги фундаментал ва амалий лойиҳалари доирасида бажарилган.

Тадқиқотнинг мақсади таркибида никель нанозаррачалари бўлган композицион полимер материалларни олиш, уларнинг оқувчанлик чегараси соҳасида электрофизик хусусиятларининг ўзгариш қонуниятларини ўрнатиш ва уларда заряд ташувчиларнинг электр ўтказувчанлик механизмини асослашдан иборатдир.

Тадқиқот вазифалари:

таркибида никель нано- ва микроразрачалари бўлган композит полимер материаллар олиш;

олинган композитларнинг электр ўтказувчанлигини, диэлектрик сингдирувчанлигини, иссиқлик ўтказувчанлигини ва термо-электр юритувчи кучларини никель нано- ва микроразрачалари миқдорига боғлиқлигини аниқлаш;

таркибида никель нано- ва микроразрачалари бўлган композит полимер материалларнинг ўтказувчанлик механизмини тадқиқ қилиш;

чексиз кластер топологиясини металл заррачалари ҳажмий миқдорига боғлиқлигини аниқлаш;

энергетик модел таклиф этиш ва уларнинг амалда қўллаш мумкин бўлган соҳаларини асослаш.

Тадқиқотнинг объекти юқори ҳароратга чидамли бўлган C1 маркали фенилон ва DB102 маркали полиарилат, таркибида никель нано- ва микроразрачалари бўлган композицион материаллар ҳисобланади.

Тадқиқотнинг предмети - таркибида никель нано- ва микроразрачалари бўлган композицион полимер материалларнинг электрофизик хусусиятларини ўзгаришини тадқиқ қилишдан иборат.

Тадқиқотнинг усуллари. Тадқиқотларда электр, иссиқлик, кнетик ва электрон микроскоп усулларидан фойдаланилган.

Тадқиқотнинг илмий янгилиги қуйидагилардан иборат:

илк бор таркибида никель нано- ва микроразрачалари тутган юқори ҳароратга чидамли композицион полимерларни олиш усуллари аниқланди;

илк бор таркибида никель нанозаррачалари тутган композицион полимер материалларнинг маълум критик концентрация соҳасида электр ўтказувчанлик, диэлектрик сингдирувчанлик, иссиқлик ўтказувчанлик ва термо электр юритувчи кучларнинг ўзгариш қонуниятлари аниқланган;

илк бор таркибида никель нанозаррачалари бўлган композицион полимер материалларнинг электр ўтказувчанлик ва диэлектрик сингдирувчанлигида критик концентрация чегарасининг икки тури биринчиси (V_c) оқувчанлик чегарасида, иккинчиси (V_{cd}) оқувчанлик чегарасида, ўтказувчанликнинг туннел-боғланган биринчи чексиз кластер $V_{cd} < V_c$, соҳасида аниқланган ва асосланган;

таркибида никель нанозаррачалари бўлган композицион полимер материалларда заряд ташувчиларнинг электр ўтказувчанлик механизми тушунтирилган;

таркибида никель нанозаррачалари бўлган композицион полимер материалларда чексиз кластер топологияси аниқланган;

Тадқиқотнинг амалий натижалари қуйидагилардан иборат:

асосида юқори хароратга чидамли полимерларни тутган, нанокөмпозитларда оқувчанлик чегарасидан пастроқ соҳада диэлектрик синдирувчанликнинг юқори қийматли бўлиши, уларни элетротехника соҳасида янги материаллар сифатида ишлатишга имкон беради, шунингдек, улардаги термо электр юритувчи кучнинг нисбатан юқори қийматда бўлиши, уларни иссиқлик энергиясини электр энергиясига айлантирувчи элемент сифатида ишлатиш асосланган;

никель нанозаррачалари бўлган маҳаллий полиэтилен асосидаги полимер көмпозитлари ёнғин сигнализациеси учун иссиқлик детектори сифатида ишлатилиши мумкинлиги аниқланган.

Тадқиқотнинг натижаларининг ишончилиги. Таркибида никель нанозаррачалари бўлган композицион полимер материалларни олиш бўйича олиб борилган тажрибалар замонавий физик-кимёвий усуллар ва математик таҳлиллар ёрдамида олинди. Иш бўйича хулосалар физикавий жараёнларнинг оптимал шароитларини аниқлашда ишлатиладиган усуллардан фойдаланган ҳолда олинган натижалар асосида қилинди. Олинган натижаларнинг тасдиғи сифатида республика ва халқаро илмий анжуманларда муҳокамалар қилинган.

Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти.

Тадқиқот натижаларнинг илмий аҳамияти шундан иборатки, таркибида никель нанозаррачалари бўлган композицион полимер материаллар структурасининг энергетик модели кўрсатилган. Заряд ташувчиларнинг ўтказувчанлик механизми ҳақидаги тасавурларнинг ривожлантирилганлиги муҳим қонуният билан асосланган.

Тадқиқотда натижаларнинг амалий аҳамияти таркибида никель нано- ва микрозаррачалари бўлган полимер материалларни яратиш ва амалий мақсадларда ҳам фойдаланилиши мумкинлиги аниқланган. Ушбу материаллар асосида иссиқликдан хабар берувчи ва ёнғин сигналларини қабул қилувчи станциялар ҳамда хароратни ўзи чегараловчи хусусиятига эга бўлган электр иситувчи элементлар сифатида қўлланилиш имкониятини берган.

Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши. Таркибида никель нано заррачалари бўлган композицион полимер материалларнинг электр хусусиятлари ўрганиш бўйича олинган илмий натижалар асосида:

Тошкент темир йўллар транспорти институтида бажарилган КА-12-004 рақамли “Элетротехника саноати учун полимер металл билан тўлдирилган көмпозит материалларни ишлаб чиқариш” мавзусидаги амалий лойиҳада таркибида металлзаррачалари тутган композицион полимер материалларда

борадиган жараёнларни тушунтиришда фойдаланилган (Ўзбекистон Республикаси Олий ва ўрта махсус таълим вазирлигининг 2020 йил 04 декабрдаги № 89-03-5080 – сон маълумотномаси). Натижада электротехника саноати учун яратилган полимер металл композит материалларни хоссаларини яхшилаш имконини берган;

нано композицион материалларнинг тузилиши ва заряд ташувчиларнинг ўтказувчанлик механизмларини тушунтириш учун натижалардан хорижий илмий мақолаларда фойдаланилган (ихтибослик қуйидаги хорижий илмий мақолаларда Journal of Nanophotonics, 2012, V.6(1), Springer, IF=1,889; Russian Journal of General Chemistry, 2020, T. 90, RG, IF=0,76; Nanotechnologies in Russia, 2015, v.10, Springer, IF=0,76). Таркибида нано ўлчамли заррачалари бўлган композит материалларни ва улардаги заряд ташувчиларнинг ўтказувчанлик механизми тушунтирилган. Натижада металл таркибли нанокомпозит материаллар олиш имконини берган;

таркибида никель нанозаррачалари тутган полиэтилен асосли композицион материал бўлган паст (~ 60⁰C) ҳароратларда иссиқликдан хабар берувчи датчиклар сигналларини қабул қилувчи станциялар яратилган. (Ўзбекистон Республикаси Олий ва ўрта махсус таълим вазирлигининг 2020 йил 23 ноябрдаги № 89-03-4892 сон маълумотномаси). Натижада лаборатория жараёнида ҳарорат датчикларини ва сигналларни қабул қилувчи станцияларни ишлаб чиқаришни йўлга қўйиш имконини берган;

Тадқиқот натижаларининг апробацияси. Диссертация бўйича олинган асосий натижалар 7 халқаро ва 4 республика миқёсидаги илмий амалий анжуманларда маъруза қилинган ва муҳокамадан ўтказилган.

Тадқиқот натижаларининг эълон қилиниши. Диссертация мавзуси бўйича жами 24 та илмий ишлар чоп этилган, шулардан Ўзбекистон Республикаси Олий Аттестация комиссиясининг фалсафа докторлик (PhD) диссертациялари асосий илмий натижаларини чоп этиш тавсия этилган илмий нашрларда 13 та илмий мақола, жумладан 8 та республика ва 5 таси хорижий журналларда нашр этилган.

Диссертациянинг тузилиши ва ҳажми. Диссертация кириш қисми, тўртта боб, хулоса, фойдаланилган адабиётлар рўйхати ва иловалардан иборат. Диссертациянинг ҳажми 105 бетни ташкил этади.

ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

Кириш қисмида диссертация долзарблиги ва зарурати асосланган, тадқиқотнинг мақсад ва вазифалари, объектлари ва предметлари белгиланган, Ўзбекистон Республикасида фан ва технологияларни ривожлантиришнинг устувор йўналишларига мослиги кўрсатилган, унинг илмий янгилиги ва амалий натижалари баён қилинган, олинган натижаларнинг ишончлилиги асосланган, назарий ва амалий аҳамияти очиб берилган, тадқиқот натижаларининг амалиётга жорий этиш истиқболлари бўйича маълумотлар келтирилган.

Диссертациянинг “**Таркибида металл нанозаррачалари бўлган композицион полимер материалларнинг электрофизик хусусиятлари ва нанозаррачалар**” номли биринчи бобида таркибида метал нано- ва микрозаррачалари бўлган композит полимер материалларнинг электрофизик хоссалари бўйича, ҳамда бир жинсли бўлмаган тизимларда заряд ташувчиларнинг ўтказувчанлик механизмининг классик ва замонавий назарияси бўйича адабиётлар шарҳи келтирилган.

Диссертациянинг “**Объект ва илмий тадқиқот усуллари**” номли иккинчи бобида таркибида метал нано- ва микрозаррачалари бўлган композицион полимер материалларни олиш усули, микро- ва нано метал заррачаларининг электр хусусиятларини ўрганиш, ҳамда ўлчаш усуллари тавсифланган.

Ўлчашлар учун икки хил композит тайёрланди. Бири – таркибида нано метал заррачалари бўлган металл-полимер композит. Иккинчиси – таркибида микро- метал заррачалари бўлган металл-полимер композитдир. Икала ҳолатда ҳам полимер матрица сифатида маркаси С1 бўлган фенилон ва маркаси DB 102 бўлган полиарилатдан фойдаланилди.

Юқори ҳароратга чидамли полимерларда никель формиатини термик парчалаш билан никель нанозаррачали композит тайёрланди. Композитдаги никель нанозаррачаларининг ўлчами $d \approx 3...4$ нм га тенг эканлиги JEOLJEM 1011 маркали микроскопда, ёритувчи электрон микраскоп усулида аниқланди.

Нанозаррачаларнинг фазовий таркиби рентгенофазовий таҳлил орқали ДРОН-3 дифрактометрида аниқланди. Дифрактограмм таҳлили Ритвельд усули орқали ўтказилди, никель заррачалари иккита ҳолатда ҳам кубик тузилишга эга **Fm3m** (225) ва ушбу қийматларга $a = b = c = 3.524$ Е, $\alpha = \beta = \gamma = 90$, $V = 43.8$ тенг эканлигини кўрсатди.

Никель нанозаррачалари полимерларнинг аморф қисмларидаги “пустотах” жойларига жойлашган бўлиб, доимий локаллашган ва стабиллашган ҳолда бир-бирлари билан Ван-дер Ваальс кучлари орқали боғланган.

Таркибида микро- метал заррачалари бўлган металл-полимер композитни метал кукунини полимер билан планетар тегирмонда 7 соат давомида аралаштириш орқали олинди. Ушбу кукундаги микро- метал заррачаларининг дисаметри 1 мкм дан 3 мкм гача ораликда эканлиги BS 242 Е (Тесла) микроскопида, аниқланди.

Электр ўлчаш ишларини бажариш учун олинган композит намуналардан иссиқ преслаш усули билан диаметри ~15 мм ва қалинлиги ~2 мм бўлган таблеткалар тайёрланди. Қаршиликларни ўлчашдаги хатолик ~1-7% ва ~ 2%, ни ташкил қилди.

Диссертациянинг “**Таркибида никелнинг нано- ва микрозаррачалари бўлган композит полимер материалларнинг электр ва иссиқликфизик хусусиятлари**” номли учинчи бобида таркибида метал нано- ва микрозаррачалари бўлган полимер материалларнинг электр ўтказувчанлиги,

диэлектрик сингдирувчанлиги, иссиқлик ўтказувчанлиги ва термо-э.ю.к. ларнинг заррачалар ҳажмий миқдорига боғлиқлиги ҳамда бу композитлар чексиз кластерларининг топологиясини ўрганишга бағишланган.

Фенилон асосидаги композицион материаллар учун электр ўтказувчанлигининг металлзаррачаларини ҳажмий миқдорига боғлиқлиги, ҳамда қуйида келтирилган назарий формулалардан фойдаланиб, оқувчанлик чегараси соҳасида ўтказувчанликнинг ҳисобланган натижалари 1-расмда кўрсатилган.

Фенилон асосли таркибида 3-4 нм ўлчамдаги никель нано заррачалари бўлган композитлар учун $V_c = 10,5$ ҳажмий % ва таркибида 1 дан 3 мкм гача ўлчамдаги никель микро заррачалари бўлган композитлар учун $V_c = 21$ ҳажмий % эканлиги аниқланган. Ҳисоблаш йўллари орқали заррачалар орасидаги масофалар никель заррачаларининг ҳажмий улуши орқали аниқланган. Олинган композитлардаги оқиш чегараси таркибидаги заррачалар орасидаги масофалар ва заррачаларнинг ўлчамининг ўзгаришига қараб тушунтирилган.

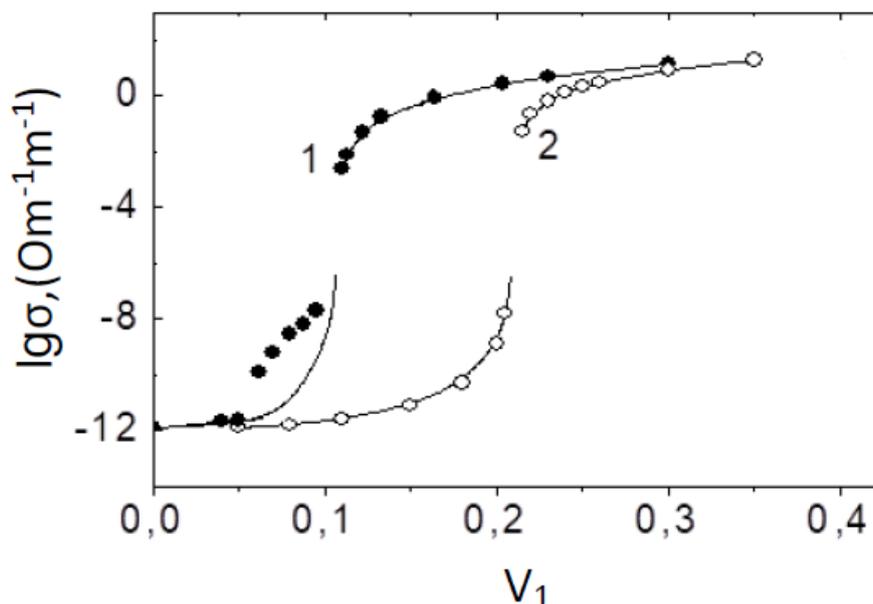
Ўрганилаётган иккала тур композицион материаллар учун назарий ва экспериментал натижалар орасидаги муносиблик $V_l > V_c$ ҳолатда кузатилиши 1-расмда кўрсатилган. $V_l < V_c$ ҳол учун назарий ва экспериментал боғланишлар орасидаги муносиблик фақат таркибида металнинг микро заррачалари бўлган композит материалларда аниқланган.

Таркибида нано металлзаррачалари бўлган композит материаллар учун V_c дан паст соҳаларда электр ўтказувчанликка қўшимча ҳисса мавжуд. Бу натижалар Балберг ва унинг ҳамкасблари таклиф этган, композитлардаги электр ўтказувчанлик модели асосида изоҳланган. Ушбу моделга асосан, композитлардаги металл заррачалар диэлектрик матрицада тасодифий тарзда тақсимланган, композитлар ўтказувчанлиги заряд ташувчиларнинг қўшни заррачалараро туннеллашуви каби бир-биридан узоқда жойлашган заррачалараро туннелланиши билан ҳам аниқланган. Макроскопик ўтказувчанликда бир - биридан узоқдаги заррачалар орасидаги туннеллашув ҳиссаси эътиборга олмаса бўладиган даражада кичик бўлса, перколяциявий ҳолат аниқланган.

Ушбу ҳолат заррачаларнинг радиуси b туннеллашув соҳаси параметри d дан сезиларли катта бўлганда ўринлидир. $b \sim d$ бўлган ҳолатда қўшни бўлмаган заррачалар орасида заряд ташувчиларнинг туннеллашуви қўшни заррачалар орасидаги туннеллашув қаторида макроскопик ўтказувчанликка ҳисса қўшади ва макроскопик ўтказувчанликнинг метал таркибли заррачалар концентрациясига боғлиқлиги классик перколяцион назария таълимотидан фарқ қилган.

Композицион материалларда ўтказувчанлик табиатининг ушбу икки турининг ҳосил бўлишида таркибида углерод нанотрубкалари бўлган полимер композитлар ва Ni нанозаррачалари бўлган керамик моддаларнинг ўтказувчанлигини ўрганиш орқали хулоса қилинган. Бизнинг ишда эса

Ўтказувчанликнинг ушбу икки тури таркибда микро- ва нано металл заррачалари бўлган полимер композитларда аниқланган.



1-расм. Таркибда нанозаррачалари (тўлдирилган нуқталар, 1-эгри чизик) ва микроразрачалари (бўш нуқталар, 2-эгри чизик) бўлган полимер материаллар учун металл заррачаларининг ҳажмий миқдори функцияси (V_1) сифатида ўтказувчанликнинг экспериментал (нуқта) ва назарий (чизик) катталикларини таққослаш.

Аниқланишича қўшни бўлмаган заррачаларо заряд ташувчиларнинг туннеллашувининг электр ўтказувчанликка қўшиладиган ҳиссасига қараб, композитларда иккита перколяциявий чегара мавжуд бўлиши кўрсатилган. Улардан бири V_1 нинг юқори қийматларда кузатилади, ва у юқорида аниқланган перколяциявий чегара V_c нинг айнан ўзи аниқланган. Бошқаси (қўшимча перколяция чегара V_{cd}) V_1 нинг кичик қийматларда кузатилиб, у туннелли-боғланган ўтказгичлардан ҳосил бўлувчи дастлабки чексиз кластерини намоён этган металл заррачаларининг критик ҳажмий миқдорининг айнан ўзи асосланган. Таркибда никель нано заррачалари бўлган полимер материал учун $V_{cd} = 0,05$ эканлигини аниқланган.

Композицион полимер материалларнинг диэлектрик сингдирувчанлиги ϵ нинг концентрацион-частотавий боғлиқлигини ўрганиш шуни кўрсатдики, ϵ нинг частотага (f) боғланишида 20 дан 10^3 Гц частоталар орасида икки хил соҳа аниқланган. Паст ($20 \div 200$ Гц) частоталарда композитларнинг диэлектрик сингдирувчанлиги ϵ сезиларли камайди, f частотанинг 10^3 Гц гача ошиши эса ϵ нинг f га монотон сусйиши аниқланди. Композитлардаги ϵ нинг $20 \div 200$ Гц орасида сезиларли камайиши Максвелл-Вагнернинг конденсатор модели ёрдамида асосланган.

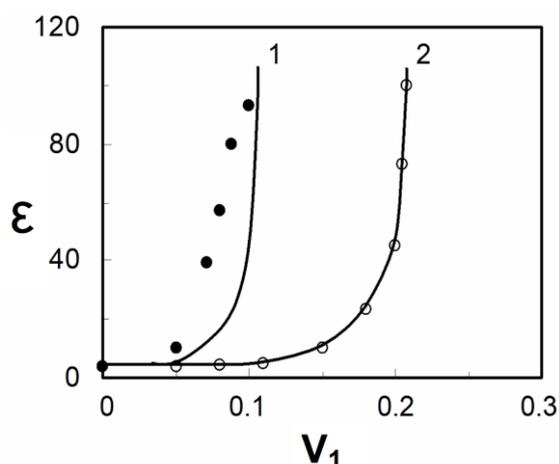
ϵ нинг назарий йўл билан олинган қиймати қуйидаги ифода бўйича ҳисоблаб чиқарилган

$$\epsilon(V) = \epsilon_d (V_c - V_1/V_c)^{-q}, \quad (1)$$

бу ерда, ϵ_d - полимернинг диэлектрик сингдирувчанлиги. Бу ҳисоблашларда σ нинг V_1 га экспериментал боғланишларидан олинган V_c нинг қийматлари келтирилган.

2-расмдан кўриниб турибдики, таркибида металнинг микроразрачалари бўлган композит учун (1) ифода бўйича ҳисоблаб топилган қиймати тажриба йўли билан олинган қийматига мос тушади. Таркибида металл наноаррачалари бўлган композит учун ϵ нинг V_1 га экспериментал боғлиқлиги формула билан ҳисобланган боғлиқлик билан мос тушмайди ва оқувчанлик чегарасидан пастда ётувчи V_1 да ϵ га қўшимча ҳиссаси аниқланган.

Оқувчанлик соҳаси атрофида ϵ нинг кескин ошиб кетишини тушунтирилиши ва композитлардаги электр хусусиятлари билан боғланган фазовий “иерархик” соҳанинг физик хоссаларига асосланиб, ўрганилаётган тегишли композит материаллар учун V нинг эгри чизикларини ўхшашлигини ҳисобга олсак, таркибида никель наноаррачалари бўлган композитларнинг электрўтказувчанлиги σ ва диэлектрик сингдирувчанлигининг ϵ боғлиқлик интерпретацияси таклиф қилинган.



2-расм. Таркибида наноаррачалар (тўлдирилган нуқталар, 1-эгри чизик) ва микроразрачалар (бўш нуқталар, 2-эгри чизик) бўлган полимер материаллар учун металл заррачаларининг ҳажмий қиймати функцияси (V_1) сифатида диэлектрик сингдирувчанликнинг экспериментал (нуқта) ва назарий (чизик) катталаикларини таққослаш.

Композитларнинг термо-э.ю.к. лари қийматларининг микро- ва нано металл заррачалари концентрациясига боғлиқлиги аниқланган. Ўрганилган композитларнинг термо-э.ю.к. лари заррачаларнинг ҳажмий миқдорига боғлиқлиги аниқ ифодаланган критик характерга эга бўлиб, оқиш назарияси доирасида асосланган.

Маълумки, оқиш назарияси усуллари қаршилик тўри топологияси (чексиз кластер топологиясини)ни ўрганиш имкониятини берди. $P(V_1)$, ЧК зичлиги, ЧК га тегишли (V_1'), склет ва склетда (V_1'') қатнашмайдиган учларининг ҳажмий миқдорлари (V_1'''), ҳамда уларнинг бундай системадаги

металл заррачаларининг ўлчамларига боғлиқлиги $\frac{Z}{R}$ аниқланди. Таркибида нано метал заррачалари бўлган композитларда оқиш чегараси яқинида чексиз кластерлар, таркибида микро- заррачалари бўлган композитларга қараганда кўпроқ эгрилиги кўрсатилган.

Жадвал

Таркибида никель нанозаррачалари бўлган композитларнинг V_1 ҳажмий микдорига боғлиқ параметрлари V_1' ; $\frac{Z}{R}$; V_1'' и V_1''' ;

№	V_1	V_1'	$\frac{Z}{R}$	V_1''	V_1'''
1	0,12	0,023	7,7	$2,1 \cdot 10^{-5}$	$2,29 \cdot 10^{-2}$
2	0,13	0,031	6,0	$6,5 \cdot 10^{-5}$	$3,09 \cdot 10^{-2}$
3	0,16	0,052	4,0	$4,1 \cdot 10^{-5}$	$5,19 \cdot 10^{-2}$
4	0,20	0,082	3,1	$1,8 \cdot 10^{-5}$	$8,19 \cdot 10^{-2}$
5	0,23	0,106	2,7	$3,7 \cdot 10^{-3}$	$1,02 \cdot 10^{-1}$
6	0,3	0,163	2,1	$1,2 \cdot 10^{-3}$	$1,6 \cdot 10^{-1}$
7	0,4	0,257	1,7	$3,2 \cdot 10^{-2}$	$2,2 \cdot 10^{-1}$
8	0,45	0,307	1,6	$6,0 \cdot 10^{-2}$	$2,4 \cdot 10^{-1}$
9	0,5	0,360	1,5	$8,9 \cdot 10^{-2}$	$2,7 \cdot 10^{-1}$

Шундай қилиб, юқорида айтилганлар асосида хулоса қилиш мумкинки, перколяция соҳаси атрофида скелетнинг ЧК га тегишли ҳажмий қисми V_1'' ЧКнинг умумий ҳажмининг аҳамиятсиз қисми бўлиб, бу қисмининг асосий қисми ўлик нуқталарда тўпланган V_1''' . Таркибида никел нанозаррачалари бўлган композитлардаги перколяция чегараси яқинида чексиз кластер юқори дисперсли заррачаларни ўз ичига олган композитларга нисбатан анча юқори бўлади. Ушбу натижалар шуни кўрсатадики, дисперсия қанчалик баланд бўлса, бундай композитлардаги чексиз кластер юқори даражада эгришалиб ортиб бориши аниқланган.

Диссертациянинг “**Таркибида никелнинг нанозаррачалари бўлган композит полимер материалларнинг ўтказувчанлик механизми табиати**” номли тўртинчи боби таркибида никель нано- ва микрозаррачалари бўлган композицион полимер материалларда заряд ташувчиларнинг электр ўтказиш механизмини ўрганишга бағишланган.

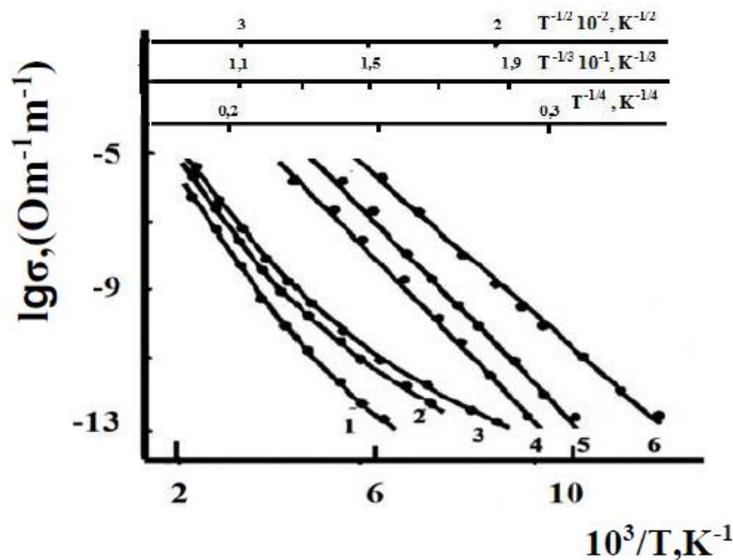
Таркибида нано металлзаррачалари $V_1 < V_c$ бўлган оралиғида температура ошиши билан композитлар ҳажми деярли ўзгармай қоладиган ячейкада, ўтказувчанликнинг температурага экспериментал боғлиқлиги 3-расмда кўрсатилган. Бундай системаларда электр ўтказувчанликнинг температурага боғлиқлигининг табиатини тушуниш учун уларнинг структурасини ўрганиш

зарур. Физик нуқтаи назардан, таркибида металл нанозаррачлари бўлган полимер композитларнинг шаклланиш жараёнини легирланган компенсирланган ярим ўтказгичларга ўхшаш ҳолда дастлабки диэлектрикни металл нанозаррачалари билан легирлаш натижаси сифатида қараш мумкин. Бу полимернинг тақиқланган зонасида киришмавий сатҳларга хос бўлган электрон ҳолат юзага келиши кўрсатилган. Металл нанозаррачаларининг ҳажмий миқдорини ошириши уларнинг концентрациясигагина эмас, ўлчамлари бўйича тақсимланишига ҳам таъсир этиши аниқланган.

Агар ушбу тасаввур тўғри бўлса, у ҳолда бундай системаларда ўтказувчанлик механизми сакровчан бўлиб, уларнинг температуравий боғлиқлиги қуйидаги тенглама ёрдамида ифодаланган

$$\sigma = \sigma_0' \exp [-(T_0/T)^x], \quad (2)$$

бу ерда, $x = n+1/n+d+1$, $g(\mathcal{E}) = g_0(\mathcal{E} - \mathcal{E}_F)^n$ - локаллашган ҳолат зичлиги, \mathcal{E}_F – Ферми сатҳи, d - фазо ўлчами. (2) –ифоданинг қўлланилишини текшириш учун одатда $Lg\sigma \sim T^{-x}$ координатада σ нинг T га боғланишлари олинган. 3-расмдан кўринишича, σ нинг T га чизикли боғланишига фақатгина $Lg\sigma \sim T^{-1/2}$ координаталарида эмас, балки $Lg\sigma \sim T^{-1/3}$ ва $Lg\sigma \sim T^{-1/4}$ кординаталарда ҳам эришиш мумкинлиги аниқланган. Композит материалларда (2) тенгламадаги x ни аниқлаш учун ўтказувчанликнинг келтирилган фаоллик энергиясининг температуравий боғлиқлигини таҳлил қилиш усулидан фойдаланилган.



3-расм. Фенилон асосли композицион полимер материаллар электр ўтказувчанлигининг (σ) температуравий боғлиқлиги. Композитда нанозаррачалар ҳажмий миқдори: 1- 0,067; 2- 0,080 ва 3- 0,088. 1-3 графиклар $Lg \sigma - 10^3/T$ координаталарда тузилган. 2- намуна учун берилганлар $Lg \sigma - T^{-1/4}$ (4), $Lg \sigma - T^{-1/3}$ (5) и $Lg \sigma - T^{-1/2}$ (6) координаталарда тасвирланган.

А.Л.Забродскийнинг илмий ишларида x ни аниқлаш учун қуйидаги тенгламадан фойдаланиш мумкинлиги кўрсатилган:

$$lg\omega = B - xlgT, \quad \omega = 1/T \cdot \partial lg\sigma / \partial T^{-1} = \partial lg\sigma / \partial T, \quad (3)$$

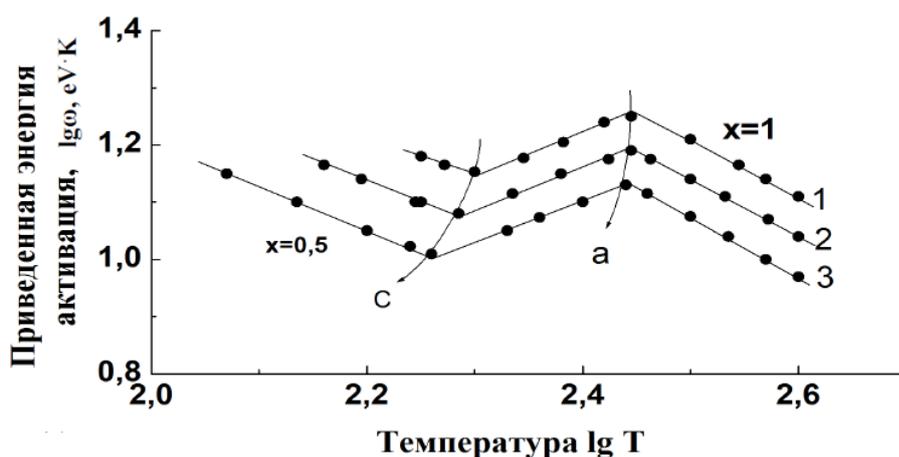
бу ерда, $V = \text{const}$, ω -ўтказувчанликнинг келтирилган фаоллик энергияси.

3 - расмда келтирилган чизмаларни $Lg\sigma - LgT$ координаталарда график тарзида дифференциаллаш билан олинган, келтирилган ω фаоллик энергиясининг температуравий боғланиши 4-расмда келтирилган. Ушбу маълумотларга кўра, бизнинг ишимизда олиб борилган температуралар интервалида учта турлича температуравий боғланишга эга эканлиги – юқори (I), қандайдир ўтиш соҳаси (II) ва паст температурали (III) билан ажратилган соҳалар мавжудлиги аниқланган.

4 – расмда юқори ҳароратли $T \geq T_a$ соҳада (a чизманинг ўнг томони) $x \approx 1$ учун $\sigma(T)$ нинг экспоненциал қонунига мос келадиган $Lg\omega$ нинг LgT га чизиғий боғланиш соҳаси мавжуд:

$$\sigma = \sigma_0 \exp(-\Delta\varepsilon/KT) \quad (4)$$

Олинган натижаларимизга кўра, (2) ифода ўтказувчанликнинг фаоллик энергиясига $\Delta\varepsilon$ эга бўлган ўтказувчанлик учун мос келади ва унинг қиймати ҳароратнинг T_a дан (a - эгри чизикдан ўнгда) 450 К гача оралиғида ўзгаришсизлиги аниқланган.



4-расм. Композицион полимер материаллар ўтказувчанлигининг келтирилган фаоллик энергияси ω нинг ҳароратга боғлиқликлари. Композитдаги тўлдирувчининг ҳажмий миқдори:
1- 0,067; 2- 0,080 ва 3- 0,088.

4-расмда паст $T \leq T_c$ ҳароратларда (c – эгри чизикдан чапда) текширилади $x \approx 0,5$ бўлгандаги $\sigma(T)$ нинг экспоненциал қонунига мос бўлган $Lg\omega$ нинг LgT га чизикли боғлиқлиги кузатилди. Бу ўзгарувчан фаоллиниш энергиясига эга бўлган ўтказувчанлик учун (2) тенгламанинг хусусий ҳолига мос келган.

$$\sigma = \sigma_0'' \exp[-(T_0 / T)^{1/2}] \quad (5)$$

Предложена и обоснован энергетическая модель структуры, объясняющая поведение проводимости носителей заряда, в композиционных полимерных материалах, содержащих наночастицы металлов.

Диссертациянинг илова қисмида ишлаб чиқилган композитларнинг амалиётда жумладан, иссиқликдан хабар берувчилар, ҳамда температурани ўзи чегараловчи самарага эга электр иситиш элементлари сифатида фойдаланиш мумкинлиги кўрсатилган.

Ёнғин хавфсизлиги хизмати олдига иссиқликдан хабар берувчиларни ишлаб чиқиш ва яратиш вазифаси қўйилди, чунки иссиқликдан хабар берувчиларнинг маълум қисмини хизмат муддати тугаши муносабати билан алмаштириш талаб этади. Таркибида нано металл заррачалари бўлган полимерлар асосида етарлича паст ($\sim 65^{\circ}\text{C}$) чегараларда ишлаб кетадиган иссиқлик хабар берувчилар тайёрланди уларнинг тажриба намунаси ва методикасини ишлаб чиқилган. Иссиқликдан хабар берувчилар ва уларни қабул қилиш станциялари учун меъёрий-техник ва лойиха-конструкторлик ҳужжатлари тузилган.

Ушбу илмий-тадқиқот ишининг сўнгида таркибида нанометалл заррачалари бўлган полимер материаллар асосида:

- Радиоэлектроника ва ўта юқори частота техникаси соҳасида фойдаланиш учун диэлектрик сингдирувчанлиги юқори қийматга эга бўлган элементларни;
- Иссиқлик энергиясини электр энергияга айлантириб берувчи сифатида фойдаланиш учун термо-э.ю.к. нинг юқори қийматига эга бўлган элементларни олиш йўллари кўриб чиқилган.

ХУЛОСА

«Таркибида никель нано заррачалари бўлган композицион полимер материалларнинг электр хусусиятлари» мавзусида фалсафа доктори (phd) диссертацияси бўйича олиб борилган тадқиқотлар натижасида қуйидаги хулосалар тақдим этилди:

1. Композицион полимер материалларнинг электр ўтказувчанлиги, диэлектрик сингдирувчанлиги, иссиқлик ўтказувчанлиги ва термо-э.ю.к. нинг никель нано- ва микро заррачаларининг ҳажмий миқдорига боғлиқлик қонуниятлари асосланган.
2. Биринчи марта айнан бир хил таркибдаги, аммо металнинг турли ўлчамли заррачаларига эга бўлган композицион полимер материалларда икки турдаги перколяцион соҳа аниқланган. Улардан бири оқувчанликнинг классик назарияси таъкидлайдиган V_c қийматларда кузатилди, иккинчиси V_{cd} туннел – боғланган ўтказгичлардан ҳосил бўладиган биринчи чексиз кластерини намоён этувчи $V_{cd} < V_c$ да кузатиладиган перколяцион чегара V_{cd} дир.
3. Ўтказувчанликнинг 100 дан 450 К гача оралиғидаги температуравий боғлиқлигини ўлчаш орқали ва ушбу боғлиқликни ўтказувчанликнинг келтирилган фаолланиш энергияси чегараларида қилинган таҳлили натижасида таркибида Ni металнинг нанозаррачалари бўлган полимер материалларда классик перколяцион чегарадан паст сатҳда, юқори

температурали ($T \geq T_a$) соҳаларда ва нисбатан паст температураларда ($T \leq T_c$) соҳаларда заряд ташувчиларнинг туннеллашуви натижасида юзага келди.

4. Металлнинг нанозаррачаларига эга бўлган полимер материалларнинг физик хоссаларини тушунтирувчи структуранинг энергетик модели таклиф этилган.
5. Структурани, яъни электр ўтказувчан полимер материаллар чексиз кластери ЧК топологиясини ўрганиш учун оқувчанлик назариясини қўллаш имкониятлари кўриб чиқилган. Бундай системаларда зичлик, ҳажмий миқдор, эгри чизиқлар, скелет ва ЧК скелетда қатнашмайдиган учларининг метал нанозаррачалари ҳажмий миқдорининг ўлчамига боғлиқлиги аниқланган.
6. Маҳаллий полиэтилендан фойдаланиб, таркибида никель нанозаррачалри бўлган иссиқликка чидамли полимерлар асосида олинган композитларнинг амалда фойдаланиш мумкин бўлган бир қанча соҳалари аниқланди.

**РАЗОВЫЙ НАУЧНЫЙ СОВЕТ НА ОСНОВЕ НАУЧНОГО СОВЕТА
DSC.02/30.12.2019.К/ФМ/Т.36.01 ПО ПРИСУЖДЕНИЮ УЧЕНЫХ
СТЕПЕНЕЙ ПРИ ИНСТИТУТЕ ХИМИИ И ФИЗИКИ ПОЛИМЕРОВ**

НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ УЗБЕКИСТАНА

БОЙМУРАТОВ ФАХРИДИН ТОҒАЙМУРАДОВИЧ

**ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КОМПОЗИЦИОННЫХ
ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ, СОДЕРЖАЩИХ
НАНОЧАСТИЦЫ НИКЕЛЯ**

**01.04. 06 -Физика полимеров
02.00.12-Нанохимия, нанофизика и нанотехнология**

**АВТОРЕФЕРАТ ДИССЕРТАЦИИ ДОКТОРА ФИЛОСОФИИ (PhD)
ПО ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИМ НАУКАМ**

Ташкент – 2021

Тема диссертации доктора философии (PhD) зарегистрирована в высшей аттестационной комиссией при Кабинете Министров Республики Узбекистан за №В2020.2. PHD/FM170.

Диссертация выполнена в Национального университета Узбекистана имени Мирзо Улугбека.

Автореферат диссертации на трех языках (узбекский, русский, английский (резюме)) размещен на веб-странице Научного совета (polchemphys.uz) и информационно-образовательном портале «ZiyoNet» (www.ziynet.uz).

Научный руководитель: **Абдурахманов Умарбек**
доктор физико-математических наук, профессор

Официальные оппоненты: **Зайнабидинов Сирожиддин Зайнабидинович**
доктор физико-математических наук, профессор, академик АН РУз.
Холмуминов Абдулфаттох Ахатович
доктор физико-математических наук, профессор

Ведущая организация: **Ташкентский государственный технический университет**

Защита диссертации состоится «__» _____ 2021 г. в __ часов на заседании Научного Совета DSc.02/30.12.2019.К/ФМ/Т.36.01 при Институте химии и физики полимеров. (Адрес: 100128, г. Ташкент, ул.АбдуллаКадыри, 7^Б. Тел.: (+99871)241-85-94, факс: (+99871)241-26-60, e-mail: polymer@academy.uz).

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Института химии и физики полимеров АН РУ за №__ (Адрес: 100128, г. Ташкент, ул.А.Кадыри, 7^Б. Тел.: (+99871)241-85-94).

Автореферат диссертации разослан «__» _____ 2021 года.
(Протокол рассылки № __ от ____ 2021 года).

С.Ш.Рашидова
Председатель разового Научного совета по присуждению
учёной степени, д.х.н., профессор, академик

М.М.Усманова
Учёный секретарь разового Научного совета
по присуждению ученой степени,
к.х.н., старший научный сотрудник

С.С.Негматов
Председатель разового научного семинара при
Научном совете по присуждению
ученой степени, д.т.н., профессор, академик

ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора философии (PhD))

Актуальность и востребованность темы диссертации. В мире уделяется большое внимание исследованиям в области создания материалов со специальными и практически важными электрофизическими свойствами на основе гетерогенных материалов, содержащих наночастицы металлов, вследствие уникальных физических характеристик этих соединений, существенно отличных от свойств соответствующих компактных материалов, широко используемых в различных областях. Гетерогенные системы, среди которых перспективны электропроводящие полимерные материалы, содержащие наночастицы металлов, имеют большой прикладной потенциал.

На сегодняшний день в мире активно проводятся научные исследования, направленные на создание гетерогенных материалов, содержащих нано- и микрочастицы металлов. В то же время область их практического применения довольно ограничена; закономерности изменения электрофизических свойств и механизма электропереноса носителей заряда в окрестности порога протекания однозначно не установлены. Не ясна энергетическая модель структуры, объясняющая поведение проводимости носителей заряда, а также не изучена топология бесконечного кластера в таких системах. Решение этих вопросов открыло бы возможности для получения более ясных представлений о структуре и механизме переноса носителей заряда в композиционных полимерных материалах, содержащих наночастицы металлов, а также для определения возможной области их практического использования.

В Республике Узбекистан уделяется большое внимание ускоренному развитию науки и техники, созданию материалов нового поколения. Среди таких материалов важнейшее место занимают новые типы полимерных материалов. Формирование нанокристаллов в матрице исследуемых материалов позволит изготавливать на их основе различные изделия для энергетики, машиностроения, а также проведению фундаментальных исследований в этом направлении на мировом уровне. В Стратегии² действия по дальнейшему развитию Республики Узбекистан намечены задачи по «...производству готовой продукции с высокой добавленной стоимостью на базе глубокой переработки местного сырья...». Фундаментальные исследования электрофизических свойств полимерных композиционных материалов, содержащих наночастицы никеля, имеют большое значение и могут стать базой для развития науки в нашей стране и широкого внедрения ее достижений.

Исследования, проведенные в данной диссертационной работе, соответствуют задачам, предусмотренным в Указах Президента

² Указ Президента Республики Узбекистан № УП-4947 «О Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан» от 07 февраля 2017 г.

Республики Узбекистан № УП–4512 от 1 марта 2013 года «О мерах по дальнейшему развитию альтернативных источников энергии», № УП-4947 от 7 февраля 2017 года «О стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан на 2017–2021 годы», Постановлениях Президента Республики Узбекистан № ПП–2789 от 17 февраля 2017 года «О мерах по дальнейшему совершенствованию деятельности Академии наук, организации, управления и финансирования научно-исследовательской деятельности», № ПП-4805 от 2020 года 12 августа «О мерах по повышению качества непрерывного образования и научной эффективности в области химии и биологии» а также других нормативно-правовых документах, принятых в данной области.

Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологии в Республике. Диссертационная работа выполнена в соответствии с приоритетным направлением науки и технологии республики: VII. «Химические технологии и нанотехнологии».

Степень изученности проблемы. Во многих странах мира экспериментальные и теоретические исследования по изучению электрофизических свойств гетерогенных материалов, содержащих наночастицы металлов, проводят такие известные зарубежные ученые, как Кособудский И.Д., Козинкин А.В., Афанасов М.И., Попова Н.А., Север О.В., Юрков Г.Ю., Губин С.П., Панкратов Д.А., Кокшаров Ю.А., Спичкин Ю.И., Недосейкина Т.И., Пирог И.В., Власенко В.Г., и другие.

В нашей республике исследования в этой области также ведут ряд известных ученых, в том числе: Негматов С.С., Рашидова С.Ш., Ашуров Н.Р., Сарымсаков А.А., Атаханов А.А., Абдурахманов У., Умаров А.В., и другие специалисты.

В последние годы появился ряд публикаций зарубежных ученых, в которых показано, что ниже перколяционного порога поведение проводимости неоднородных материалов (матрицами являются керамика, полимеры, стекло), содержащих наночастицы металлов (Fe: Ni), не может быть объяснено в рамках перколяционной теории. Эта проблема детально обсуждена в обзорной статье Balberg и др. в [I. Balberg, D. Azulay, D. Toker and O. Millo, “Percolation and Tunneling in Composite Materials,” *Int. J. Mod. Phys. B*, 18, 2091-121 (2004)]. В этой статье проанализированы результаты последних 30 лет исследований проводимости неоднородных материалов, содержащих микро- и нанопроводящие частицы; поведение проводимости композитов, содержащих наночастицы металлов, обсуждается в понятиях пространственно-структурной иерархической модели, т.е. объяснено образованием туннельно-связанных проводников.

В то же время до настоящего времени все еще отсутствуют экспериментальные результаты, однозначно подтверждающие данное предположение, а также не установлены закономерности изменения

электрофизических свойств в таких материалах в зависимости от содержания нанодисперсного наполнителя.

Связь диссертационного исследования с планами научно-исследовательских работ высшего образовательного или научно-исследовательского учреждения, где выполнена диссертация.

Диссертационное исследование выполнено в рамках плана научно-исследовательских проектов Национального Университета Узбекистана, фундаментального проекта ОТ-Ф2-050 на тему: «Особенности электрофизических свойств композитных материалов, содержащих наночастицы металлов в окрестности порога протекания» (2007-2011гг.) и прикладного проекта К-12-004 на тему: "Композиционные наноматериалы: синтез и разработка элементов с заданными физическими свойствами"(2015-2017 гг.).

Цель исследования заключается в установлении закономерностей поведения электрофизических свойств композиционных полимерных материалов, содержащих наночастицы никеля, в области порога протекания, выяснение механизма электропереноса носителей заряда в них, а также определения возможной области их практического использования.

Задачи исследования:

разработка композиционных полимерных материалов, содержащих нано- и микрочастицы никеля;

исследование концентрационной зависимости электропроводности, диэлектрической проницаемости, теплопроводности и термо-ЭДС разработанных композитов от содержания нано- и микрочастицы никеля;

исследование концентрационно–температурной зависимости проводимости в разработанных композитах;

изучение топологии бесконечного кластера в таких системах;

выяснение механизма электропереноса носителей заряда и энергетической модели структуры композиционных полимерных материалов, содержащих наночастицы никеля;

определение возможных областей практического применения разработанных композитов.

Объектами исследования являются термостойкие полимеры-фенилон марки С1 и полиарилат марки DB102, композиционные полимерные материалы, содержащие нано- и микрочастицы никеля.

Предмет исследования: разработка композиционных полимерных материалов, содержащих нано- и микрочастицы никеля и изучение их электрофизических свойств.

Методы исследования: электрические, теплофизические, кинетические и электронно-микроскопические исследования.

Научная новизна диссертационного исследования заключается в следующем:

разработана методика получения композитов на основе термостойких полимеров, содержащих нано- и микродисперсные частицы никеля;

в композиционных полимерных материалах, содержащих наночастицы никеля, установлены закономерности изменений электропроводности, диэлектрической проницаемости, теплопроводности и термо-ЭДС в окрестности перколяционного порога протекания;

впервые в композиционных полимерных материалах в зависимости электропроводности и диэлектрической проницаемости от объемного содержания наночастиц никеля выявлены два типа перколяционных порогов: один из них наблюдается при значениях V_c , которую диктует классическая теория протекания, другой при $V_{cd} < V_c$, который инициирует первый бесконечный кластер из туннельно-связанных проводников;

предложена интерпретация поведения электропроводности и диэлектрической проницаемости композитов, содержащих наночастицы металлов, а также сформулировано современное представление о транспортных процессах носителей заряда в них;

рассмотрена возможность применения теории протекания для изучения структуры, т.е. топологии бесконечного кластера в электропроводящих полимерных материалах, содержащих наночастицы металлов. Определена плотность, объемная доля, извилистость, объемная доля скелета и мертвых концов бесконечного кластера в зависимости от объемной доли наполнителя V_1 в таких системах.

Практические результаты исследования заключаются в следующем.

Установлено, что высокое значение диэлектрической проницаемости в области ниже перколяционного порога в нанокompозитах на основе термостойких полимеров позволяет применять их в качестве новых материалов в электротехнике, а также относительно высокое значение термо-ЭДС в них позволяет применять их в качестве преобразователей тепловой энергии в электрическую;

Показано, что полимерные композиты на основе местного полиэтилена содержащие наночастицы никеля могут быть использованы в качестве тепловых извещателей для пожарных сигнализаций.

Достоверность результатов исследования. Экспериментальные результаты по разработке технологии композиционных полимерных материалов, содержащих микро- и наночастицы никеля, обоснованность научных положений, выводы подтверждаются современными физико-химическими методами и обработкой результатов с помощью теории протекания, а также математического анализа. Подтверждением полученных результатов служат экспертные оценки специалистов и практическое применение полученных результатов.

Научная и практическая значимость результатов исследования.

Научная значимость результатов исследования определяется тем, что они имеют фундаментальный характер и в то же время могут быть использованы в практических целях. Фундаментальной значимостью результатов исследований, проведенных в данной диссертационной работе, является вклад в развитие представлений механизма проводимости носителей заряда и предлагаемая энергетическая модель структуры в композиционных полимерных материалах, содержащих наночастицы металлов.

Практическая значимость работы заключается в том, что благодаря высоким значениям диэлектрической проницаемости и термо-ЭДС в области ниже перколяционного порога наноккомпозиты на основе термостойких полимеров могут быть использованы в качестве новых материалов в электротехнике.

Внедрение результатов исследования. Установленные закономерности поведения электропроводности, диэлектрической проницаемости, теплопроводности и термо-ЭДС в окрестностях перколяционного порога протекания в композиционных материалах на основе термостойких полимеров, содержащих нано- и микрочастицы никеля, в области порога протекания, а также предложенный механизм электропереноса носителей заряда в них были использованы:

- при проведении исследований в Ташкентском институте железнодорожного транспорта в рамках прикладного проекта КА-12-004 «Разработка полимерных металлонаполненных композиционных материалов для электротехнической промышленности» (справка Министерства высшего и среднего специального образования Республики Узбекистан № 89-03-5080 от 04 декабря 2020 года). Использование научных результатов позволило разработать ряд полимерных металлонаполненных композиционных материалов для электротехнической промышленности;

- зарубежными исследователями (ссылки в международных научных журналах *Journal of Nanophotonics*, 2012, V.6(1), Springer, IF=1,889; *Russian Journal of General Chemistry*, 2020, T. 90, RG, IF=0,76; *Nanotechnologies in Russia*, 2015, v.10, Springer, IF=0,76) для объяснения механизмов электропроводности носителей зарядов и свойств композитов с наноразмерными частицами. Применение научных результатов позволило получить наноккомпозитные материалы с уникальными свойствами.

- для разработки полимерных термодатчиков с более низким пределом срабатывания ($\sim 60^{\circ}\text{C}$) на основе местного полиэтилена, содержащего нанодисперсные порошки никеля и приемная станция к этим извещателям. Составлены нормативно-техническая и проектно-конструкторская документации к тепловым извещателям и их приемной станции, проведены лабораторные испытания (справка Министерства высшего и среднего специального образования Республики Узбекистан № 89-03-4892 от 23 ноября 2020 года). Освоение мелкосерийного производства датчиков

температуры и приемной станции к ним позволяет уменьшить зависимость от импорта и снизит себестоимость систем пожарной сигнализации, по сравнению с системами, основанными только на импортной технике.

Апробация результатов исследования. Основные результаты диссертации были представлены и обсуждены на 7 международных и 4 республиканских научных конференциях.

Публикация результатов исследования. По теме диссертации опубликовано 24 научные работы, из которых 13 статей опубликованы в республиканских и 5 - в зарубежных научных журналах, рекомендованных к публикации основных научных результатов докторских (PhD) диссертаций со стороны ВАК Республики Узбекистан.

Структура и объем диссертации. Вводная часть диссертации состоит из четырех глав, заключения, списка использованной литературы и приложений. Объем диссертации составляет 105 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обосновываются актуальность и востребованность проведенного исследования, цель и задачи исследования, объект и предмет, показано соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий Республики Узбекистан, излагаются научная новизна и практические результаты исследования, раскрываются научная и практическая значимость полученных результатов.

В первой главе диссертации под названием **«Наночастицы и электрофизические свойства композиционных полимерных материалов, содержащих наночастиц»** дается обзор работ по электрофизическим свойствам композиционных полимерных материалов, методам исследований полимерных материалов, содержащих нано- и микрочастицы, а также по классическим и современным теориям касательно механизма проводимости гетерогенных систем.

Вторая глава диссертационной работы, под названием **«Объекты и методы исследования»** содержит данные о химической структуре и характеристиках использованных термостойких полимеров; морфологии частиц никеля; методике получения композиционных материалов, содержащих нано- и микродисперсные частицы никеля на основе этих полимеров, а также описание методики измерения их проводимости?

Для исследований были приготовлены два типа композитов:

– металл-полимерный композит, содержащий наноразмерные частицы никеля;

– металл-полимерный композит, содержащий, микрочастицы никеля.

В обоих случаях в качестве полимерной матрицы использовались фенилон марки С1 и полиарилат марки DB102.

Композит с никелевыми наночастицами был приготовлен термическим разложением формиата никеля в термостойких полимерах. Определение

размера наночастиц никеля в образцах осуществлялось методом просвечивающей электронной микроскопии на микроскопе JEOL JEM-1011, значения диаметров которых составляли $d \approx 3 \dots 4$ нм.

Фазовый состав наночастиц определяли при помощи рентгенофазового анализа. Запись дифрактограмм осуществлялась на дифрактометре ДРОН-3. Анализ дифрактограмм проведенный по методу Ритвельда, показал, что частицы никеля в обоих случаях имеют кубическую структуру **Fm $\bar{3}$ m** (225) с параметрами $a = b = c = 3.524$ Å, $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$, $V = 43.8$.

Наноразмерные частицы никеля, по всей вероятности, локализуются и стабилизируются в естественных “пустотах” в аморфной областях в объеме полимера и связаны Ван-дер Ваальсовыми силами.

Композит с микрочастицами был приготовлен смешиванием никелевого порошка с полимерами на планетарной мельнице в течение 7 часов. В составе образовавшегося порошка диаметр частиц никеля находился в диапазоне от 1 до 3 мкм, что было установлено с помощью электронного микроскопа BS242E (Тесла).

Объемная доля частиц никеля в композиции варьировали от 0,02 до 0,55. Для выполнения электрических измерений из образцов методом горячего прессования были изготовлены таблетки диаметром 15 мм и толщиной ~ 2 мм. Ошибки измерения проводимости и статической диэлектрической проницаемости составляли $\sim 1-7\%$ и $\sim 2\%$ соответственно.

В третьей главе диссертации под названием **«Электрические и теплофизические свойства композиционных полимерных материалов, содержащих нано- и микрочастицы никеля»**, приведены результаты изучения концентрационной зависимости электропроводности, диэлектрической проницаемости, теплопроводности и термо-ЭДС полимерных материалов, содержащих нано и микрочастицы никеля, а также топологии бесконечного кластера разработанных композитов.

На рис. 1 показаны экспериментальные данные зависимости проводимости σ от объемного содержания V_I никелевых частиц для обоих исследованных композиционных материалов на основе фенилона, а также расчетные согласно перколяционной теории данные. Порог протекания V_c для композитов с никелевыми частицами размером от 1 до 3 мкм был в районе $V_c = 0,21$ (21 об. %), в то время как при размере наночастиц 3-4 нм порог был около $V_c = 0,105$ (10.5 об.%). Расчётными путями были определены расстояния между частицами в зависимости от объемной доли частиц никеля. Уменьшение значений порога протекания для полученных композитов объяснено уменьшением этого расстояния при уменьшении размеров частиц.

Как видно из рис. 1, для обоих типов изучаемых композиционных материалов соответствие между расчётными и экспериментальными данными наблюдается при $V_I > V_c$. В случае $V_I < V_c$ соответствие между теоретическими и экспериментально полученными результатами

наблюдается только для композитных материалов с микродисперсными никелевыми частицами.

Для композитного материала с наноразмерными частицами никеля имеется дополнительный вклад в электропроводность в области ниже V_c .

Эти результаты могут быть объяснены на основе предложенной Балбергом модели электрической проводимости в композитах. Согласно этой модели, все металлические частицы в композитах, в которых металлические частицы случайным образом распределены в диэлектрической матрице, являются электрически связанными, и проводимость этих композитов определяется как туннелированием носителей заряда между соседними частицами, так и туннелированием между частицами, находящимися на удалении. Перколяционное поведение наблюдается, когда вклад туннелирования между частицами, удаленными друг от друга, в макроскопическую проводимость является пренебрежимо малым. Это имеет место в том случае, когда радиус частиц (b) значительно превосходит параметр области туннелирования (или параметр распада туннелирования) (d). В том случае, когда $b \sim d$, туннелирование носителей заряда между не соседними частицами вносит вклад в макроскопическую проводимость наряду с туннелированием между соседними частицами и зависимость макроскопической проводимости от концентрации металлсодержащих частиц отличается от той, которая диктуется классической перколяционной теорией.

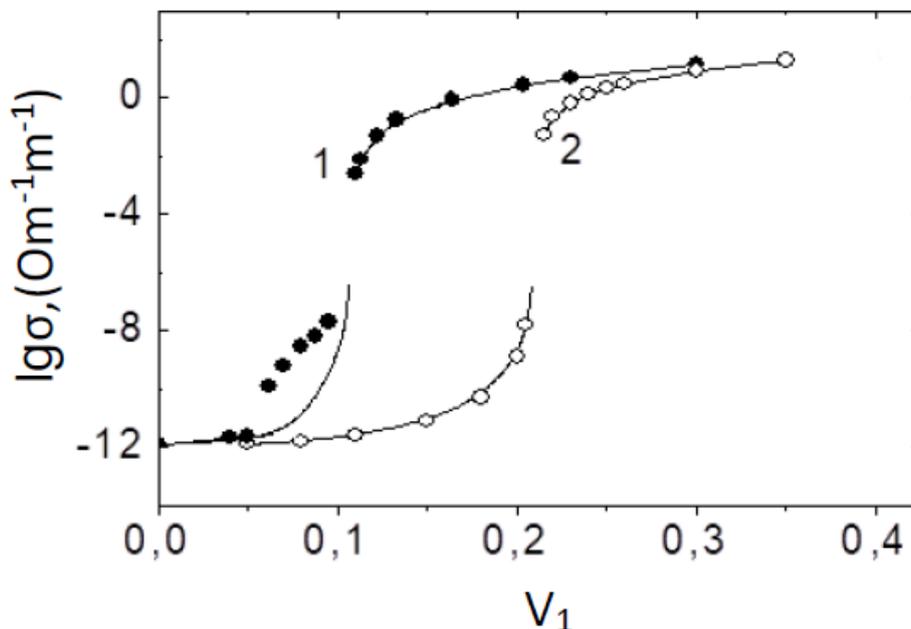


Рис.1: Сравнение экспериментальных (точки) и теоретических (сплошные кривые) величин проводимости как функций объемного содержания (V_1) никелевых частиц для полимерных материалов, содержащих наночастицы (заполненные точки, кривая 1) и микродисперсные частицы (пустые точки, кривая 2).

В обзорной статье Балберга проявление этих двух типов поведения проводимости в композитных материалах было продемонстрировано путем

изучения углеродных нанотрубок, локализованных в полимерных композитах и металлокерамики Ni-SiO₂. Особенность, полученных в нашей работе, результатов состоит в том, что эти два типа поведения проводимости наблюдались в композитах одного и того же состава, демонстрируя зависимость проявления этих типов проводимости от размера металлсодержащих частиц в исследованных композитах.

Как показано нами в композитах, в которых наблюдается вклад в электропроводность от туннелирования носителей заряда существуют два перколяционных порога. Один из них наблюдается при высоких значениях V_I , он и есть определенный выше перколяционный порог V_c . Другой (дополнительный перколяционный порог V_{cd}) наблюдается при низких значениях V_I , и он есть критический долевого объема металлических частиц, который инициирует первый бесконечный кластер из туннельно-связанных проводников, значение которого для композитов на основе фенилона было равно $V_{cd} = 0,05$.

Исследование концентрационно - частотной зависимости диэлектрической проницаемости ϵ композитов показывает, что на зависимости ϵ от частоты (f), в области частот от 20 до 10^3 Гц переменного поля, наблюдаются две области. При низких частотах (20 ÷ 200 Гц) ϵ композитов уменьшается существенно, дальнейшее увеличение частоты до 10^3 Гц в таких системах приводит к слабой зависимости их ϵ от f . Уменьшение ϵ композитов при низких частотах объясняется моделью конденсатора Максвелла-Вагнера.

Теоретические зависимости рассчитаны по формуле

$$\epsilon(V) = \epsilon_d (V_c - V_I/V_c)^{-q} \quad (1)$$

где ϵ_d – диэлектрическая проницаемость полимера. При этих расчетах были использованы те же значения V_c , которые были получены из экспериментальных зависимостей σ от V_I .

Как видно из рис. 2, для композита с микродисперсными частицами металлов экспериментальная зависимость ϵ от V_I хорошо описывается формулой (1). Для композита с наночастицами металлов экспериментальная зависимость ϵ от V_I не согласуется с зависимостью, рассчитанной по этой формуле, и показывает дополнительный вклад в ϵ при V_I , лежащих ниже перколяционного порога.

Основываясь на качественной интерпретации резкого увеличения ϵ вблизи перколяционного порога и на физических представлениях об "иерархии" электрически связанных пространственных структур в композитах принимая во внимание, что для соответствующих композитных материалов, изучаемых здесь, кривые V -зависимости для σ и ϵ подобны, предложена интерпретация поведения диэлектрической проницаемости композитов, содержащих наночастицы металлов.

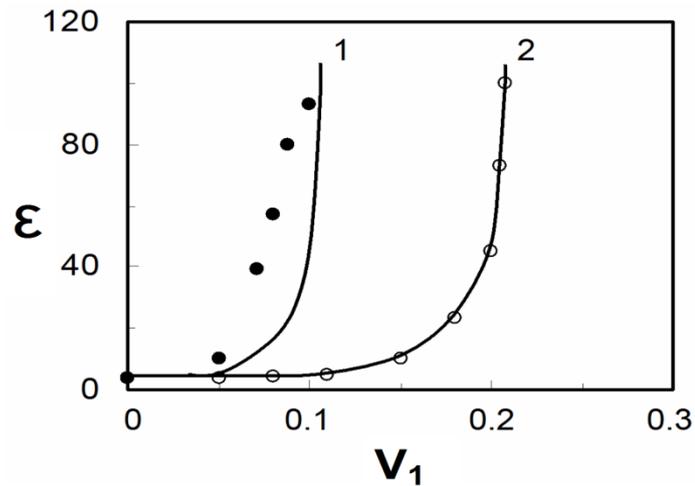


Рис 2: Сравнение экспериментальных (точки) и теоретических (сплошные кривые) величин диэлектрической проницаемости (ϵ) как функции объемного содержания (V_1) никелевых частиц для полимерных материалов, содержащих наночастицы (заполненные точки, кривая 1) и микродисперсные частицы (пустые точки, кривая 2).

Показано, что теплопроводность и значения термо-ЭДС композитов от объемного содержания (V_1) нано- и микрочастицы никеля носит четко выраженный критический характер, но с тем фактом что теплопроводность можно описать практически любой формулой, выведенной в рамках теории эффективной среды, а термо-ЭДС в рамках теории протекания.

Известно, что методы теории протекания позволяют установить топологию сетки сопротивления (топологию бесконечного кластера). Определены $P(V_1$ -плотность БК, $\frac{Z}{R}$ - величина показывающая, насколько длина скелета больше R за счет извилистости, объемные доли БК (V_1'), его скелета (V_1'') и мертвых концов (V_1''') от объемного содержания (V_1) никелевых частиц в таких системах.

Таблица

Зависимость параметров V_1' ; $\frac{Z}{R}$; V_1'' и V_1''' от объемной доли наполнителя V_1 для композитов, содержащих нанодисперсных частиц никеля.

№	V_1	V_1'	$\frac{Z}{R}$	V_1''	V_1'''
1	0,12	0,023	7,7	$2,1 \cdot 10^{-4}$	$2,29 \cdot 10^{-2}$
2	0,13	0,031	6,0	$6,5 \cdot 10^{-4}$	$3,09 \cdot 10^{-2}$
3	0,16	0,052	4,0	$4,1 \cdot 10^{-4}$	$5,19 \cdot 10^{-2}$
4	0,20	0,082	3,1	$1,8 \cdot 10^{-4}$	$8,19 \cdot 10^{-2}$

5	0,23	0,106	2,7	$3,7 \cdot 10^{-3}$	$1,02 \cdot 10^{-1}$
6	0,3	0,163	2,1	$1,2 \cdot 10^{-3}$	$1,6 \cdot 10^{-1}$
7	0,4	0,257	1,7	$3,2 \cdot 10^{-2}$	$2,2 \cdot 10^{-1}$
8	0,45	0,307	1,6	$6,0 \cdot 10^{-2}$	$2,4 \cdot 10^{-1}$
9	0,5	0,360	1,5	$8,9 \cdot 10^{-2}$	$2,7 \cdot 10^{-1}$

Заключено, что вблизи порога протекания объемная доля скелета, принадлежащего БК составляет ничтожную долю его полного объема и основная масса БК сосредоточена в мертвых концах. Показано, что вблизи порога протекания в композитах, содержащих наночастицы никеля, бесконечный кластер более извилистен, по сравнению в композитах, содержащих микродисперсные частицы. Эти результаты показывают, что чем выше дисперсность, тем больше извилистен бесконечный кластер в таких композитах.

Четвёртая глава диссертации, которая называется «**Природа механизма проводимости в композиционных полимерных материалах, содержащих наночастицы металлов**» посвящена изучению механизма электропереноса носителей заряда в композиционных полимерных материалах, содержащих наночастицы никеля.

На рис 3, показаны экспериментальные зависимости проводимости σ от температуры в интервале температур от 100 К до 450 К для композитов, содержащих наночастицы металлов, полученных при $V_I < V_c$ в ячейке, где объем композиции с увеличением температуры практически остается постоянным.

Для того, чтобы понять природу температурной зависимости электропроводности в таких системах следует изучить их структуру. С физической точки зрения, процесс формирования полимерных композитов, содержащих наночастицы металлов, можно рассматривать как следствие легирования исходного диэлектрика наночастицами металлов подобно легированным компенсированным полупроводникам. Это означает, что в запрещенной зоне исходного полимера возникают электронные состояния, аналогичные примесным уровням. Увеличение объемного содержания наночастицы металлов влияет не только на концентрацию, но и на распределение их по размерам. Если указанное представление верно, то механизм проводимости в таких системах является прыжковым, её температурная зависимость должна описываться следующим уравнением

$$\sigma = \sigma_0' \exp [-(T_0/T)^x], \quad (2)$$

где $x = n+1/n+d+1$, $g(\varepsilon) = g_0(\varepsilon - \varepsilon_F)^n$ - плотность локализованных состояний, ε_F - уровень Ферми, d-размерность пространства.

Для проверки применимости закона (2), обычно строят зависимость σ от T в координатах $\lg\sigma \sim T^{-x}$. Как видно из рисунка 3, зависимость σ от T удается спрямить не только в координатах $\lg\sigma \sim T^{-1/2}$, но и в координатах $\lg\sigma \sim T^{-1/3}$ и $\lg\sigma \sim T^{-1/4}$. Для определения x в уравнении (2) в композитных материалах был использован метод анализа температурной зависимости приведенной энергии активации проводимости.

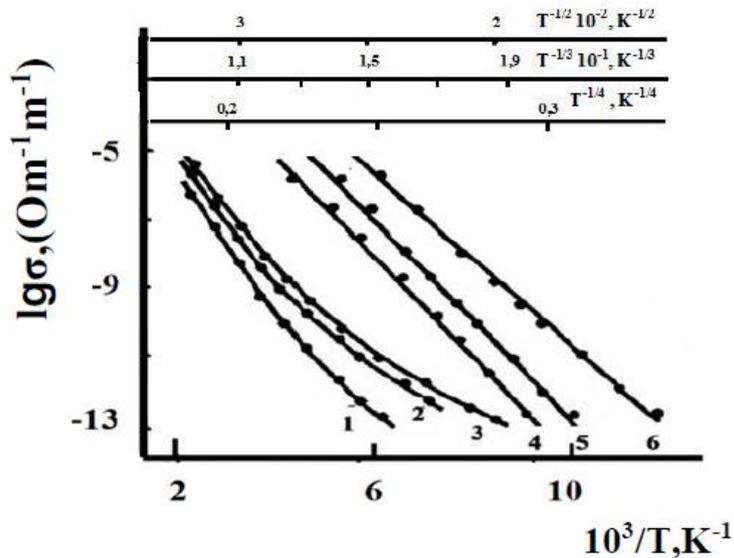


Рис. 3: Температурные зависимости электропроводности σ композиционных полимерных материалов на основе фенилона. Объемная доля наночастицы Ni в композиции 1- 0,067; 2- 0,080 и 3- 0,088. Графики 1-3 построены в координатах $\lg\sigma - 10^3/T$. Данные для образца 2 представлены также в координатах $\lg\sigma - T^{-1/4}$ (4), $\lg\sigma - T^{-1/3}$ (5) и $\lg\sigma - T^{-1/2}$ (6).

В работе А.Л.Забродского показано, что для определения x можно воспользоваться уравнением

$$\lg\omega = B - x \lg T, \quad \omega = 1/T \cdot \partial \lg\sigma / \partial T^{-1} = \partial \lg\sigma / \partial T, \quad (3)$$

где $B = \text{const}$, ω -приведенная энергия активации проводимости.

На рис.4 для композитов приведена температурная зависимость ω , полученная графическим дифференцированием кривых рисунка 3 в координатах $\lg\sigma - \lg T$. Из этих данных видно, что в исследованном интервале температур имеются три области с разной температурной зависимостью - высоко (I) и низкотемпературная (III), разделяющиеся некоторой переходной областью (II).

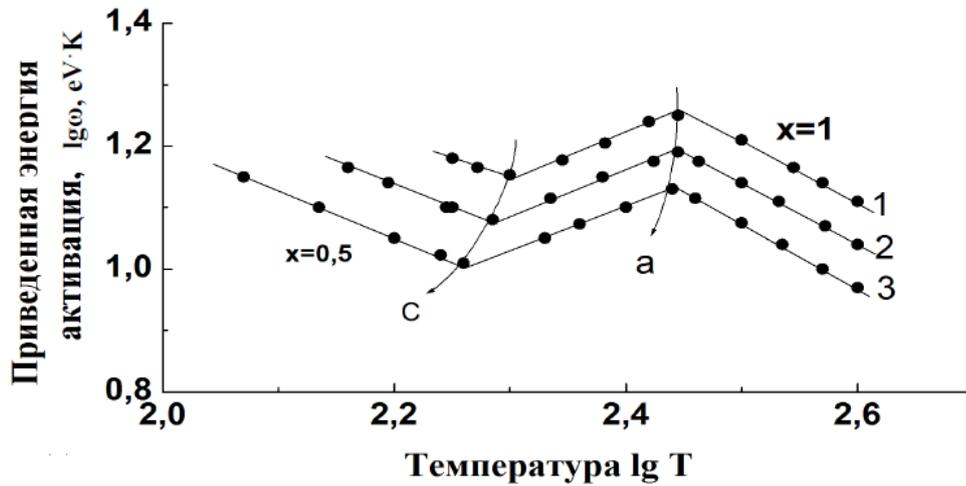


Рис.4: Температурные зависимости приведенной энергии активации проводимости ω композиционных полимерных материалов. Объемная доля наполнителя в композиции 1- 0,067; 2- 0,080 и 3- 0,088.

Как видно из рис.4, в высокотемпературной области $T \geq T_a$ (справа от кривой а) имеется область линейной зависимости $Lg\omega$ от LgT , соответствующая экспоненциальному закону $\sigma(T)$ с $x \approx 1$,

$$\sigma = \sigma_0 \exp(-\Delta\varepsilon/KT), \quad (4)$$

Исходя из полученных результатов, закон (2) в этом случае соответствует для проводимости с энергией активации проводимости $\Delta\varepsilon$ и его значение, в интервале температур от T_a (справа от кривой а) до 450^0 К - постоянно.

Как видно из рис.4, в исследуемых образцах при сравнительно низких температурах $T \leq T_c$ (слева от кривой с) также наблюдается линейная зависимость $lg\omega$ от lgT , соответствующая экспоненциальному закону $\sigma(T)$ с $x \approx 0,5$.

Это соответствует частному случаю закона (2) для проводимости с переменной энергией активации.

$$\sigma = \sigma_0'' \exp[-(T_0 / T)^{1/2}] \quad (5)$$

Предложена и обоснована энергетическая модель структуры, объясняющая поведение проводимости носителей заряда, в композиционных полимерных материалах, содержащих наночастицы металлов.

В конце диссертации изложены возможные области практического использования полученных композитов на основе термостойких полимеров, содержащих наночастицы металлов, с целью разработки:

- элементов с относительно повышенными значениями диэлектрической проницаемости для использования их в области радиоэлектроники и СВЧ техники;

- элементов с относительно высоким значениями термо-ЭДС для использования их в качестве преобразователей тепловой энергии в электрическую.

Показана возможность получения тепловых извещателей на основе подбора полимера и частицы металлов с достаточно высокой разностью температурных коэффициентов линейного расширения. Показано, что полимерные композиты на основе местного полиэтилена, содержащие наночастицы никеля, могут быть использованы в качестве тепловых извещателей для пожарных сигнализаторов с более низким порогом срабатывания ($\sim 60^{\circ}\text{C}$). Составлены нормативно-техническая и проектно-конструкторская документации к тепловым извещателям и их приемной станции. Освоение мелкосерийного производства датчиков температуры и приемной станции к ним позволяет уменьшить зависимость от импорта и снизить себестоимость систем пожарной сигнализации, по сравнению с системами, основанными только на импортной технике.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе проведенных исследований по диссертации на соискание ученой степени доктора философии (PhD) на тему: «Электрические свойства композиционных полимерных материалов, содержащих наночастицы никеля» представлены следующие выводы.

1. Выявлены закономерности поведения электропроводности, диэлектрической проницаемости, теплопроводности и термо-ЭДС композиционных полимерных материалов при различном объемном содержании нано- и микрочастицы никеля.
2. Впервые установлено, что в композиционных полимерных материалах одного и того же состава, но с разными размерами частиц металлов наблюдаются два типа перколяционного порога. Один из них наблюдается при значениях V_c , которая соответствует классической теории протекания; другой перколяционный порог (V_{cd}) наблюдается при $V_{cd} < V_c$, который инициирует первый бесконечный кластер из туннельно-связанных проводников.
3. Путем измерения температурной зависимости проводимости в интервале от 100 до 450К и анализа этой зависимости в рамках приведенной энергии активации проводимости установлено, что в полимерных материалах, содержащих наночастицы никеля, в области ниже классического перколяционного порога - в высокотемпературной области ($T \geq T_a$) основной вклад в электропроводность даёт туннелирование носителей заряда с постоянной энергией активации проводимости. При

сравнительно низких температурах ($T \leq T_c$) электроперенос в образцах осуществляется туннелированием носителей заряда с переменной энергией активации проводимости .

4. Предложена и обоснована энергетическая модель структуры, объясняющая поведение проводимости носителей заряда, в композиционных полимерных материалах, содержащих наночастицы металлов.
5. Обоснована возможность применения теории протекания для изучения структуры, т.е. топологии бесконечного кластера (БК) в электропроводящих полимерных материалах. Показано, что вблизи порога протекания объемная доля скелета, принадлежащего БК, составляет ничтожную долю его полного объема, и основная масса БК сосредоточена в мертвых концах.
6. Определены возможные области практического использования содержащих наночастицы никеля композитов на основе термостойких полимеров, а также местного полиэтилена.

**ONE TIME SCIENTIFIC COUNCIL BASED ON THE SCIENTIFIC
COUNCIL FOR AWARDED SCIENTIFIC DEGREES
DSC.02/30.12.2019.K/FM/T.36.01 AT THE INSTITUTE
OF POLYMER CHEMISTRY AND PHYSICS**

NATIONAL UNIVERSITY OF UZBEKISTAN

BOYMURATOV FAKHRIDDIN TOG'AIMURADOVICH

**ELECTRICAL PROPERTIES OF COMPOSITE POLYMER MATERIALS
CONTAINING NANOPARTICLES OF NICKEL**

**01.04. 06 - Physics of Polymers
02.00.12-Nanochemistry, nanophysics and nanotechnology**

**DISSERTATION ABSTRACT OF THE
DOCTOR OF PHILOSOPHY (PhD)
ON PHYSICAL MATHEMATICAL SCIENCES**

Tashkent – 2021

Subject of dissertation of the Doctor of Philosophy (PhD) is registered at the Supreme Attestation Commission under the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan No. B2020.2. PhD/FM170.

The dissertation was performed at the Department of General Physics, Physics Department of the National University of Uzbekistan named after Mirzo Ulugbek.

An abstract of the dissertation in three languages (Uzbek, Russian, English (summary)) is posted on the website of the Scientific Council (polchemphys.uz) and the information and educational portal "ZiyoNet" (www.ziynet.uz).

Scientific adviser: **Abdurakhmanov Umarbek**
Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor

Official opponents: **Zaynabidinov Sirojiddin Zaynabidinovich**
Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, academician ASRUZ
Kholmuminov Abdulfattokh Akhatovich
Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor

Leading organization: **Tashkent State Technical University**

The dissertation will be defended on ____ _____2021 at ____ hours at a meeting of the DSc Scientific Council. FM / K / T.36.01 at the Institute of Chemistry and Physics of Polymers. (Address: 100128, Tashkent, 7B Abdulla Kadiri St. Tel .: (+99871) 241-85-94, fax: (+99871) 241-26-60, e-mail: polymer@academy.uz)

The dissertation can be found at the Information Resource Center of the Institute of Chemistry and Polymer Physics under ____ (Address: 100B, Tashkent, 7B Abdulla Kadiri St. Tel .: (+99871) 241-85-94).

An abstract of the dissertation was sent " ____ " _____2021.
(Mailing Protocol No. ____ dated ____2021).

S.Sh. Rashidova

One-time scholarship for the award of advanced degrees chairman of the board,
doctor of chemical sciences,
professor, academician

M.M.Usmonova

Scientific secretary of scientific council
for award of scientific degrees,
candidate of chemical sciences, senior researcher

S.S.Negmatov

Deputy of chairman of scientific seminar under Scientific council for awarding the scientific degrees,
doctor of technical sciences,
professor, academician

INTRODUCTION (abstract of doctor of philosophy dissertation)

The aim of the research work consists in establishing the regularity of the behavior of the electrophysical properties of composite polymer materials containing nickel nanoparticles in the region of the percolation threshold, elucidating the mechanism of electrical transfer of charge carriers in them, and also determining the possible area of their practical use.

The object of the research work are heat-resistant polymers-phenylene grade C1 and polyarylate grade DB102. Composite polymer materials containing micro- and nanoparticles of nickel.

The scientific novelty of the dissertation research is as follows:

a method for obtaining composites based on heat-resistant polymers containing nanoparticles and microdispersed nickel particles has been developed;

in composite polymer materials containing nickel nanoparticles, the regularities of the behavior of electrical conductivity, dielectric constant, thermal conductivity and thermoelectric power in the vicinity of the percolation threshold are established;

For the first time in composite polymer materials, two types of percolation thresholds have been revealed in relation to the electrical conductivity and dielectric constant depending on the content of nickel nanoparticles: one of them is observed at the values of V_c , which is dictated by the classical theory of percolation, the other at $V_{cd} < V_c$, which initiates the first infinite cluster of tunnel-coupled conductors;

an interpretation of the behavior of electrical conductivity and dielectric constant of composites containing metal nanoparticles is proposed, and a modern concept of the transport processes of charge carriers in them is formulated;

the possibility of using the percolation theory to study the structure is considered, i.e. topology of an infinite cluster in electrically conductive polymeric materials containing metal nanoparticles. The density, volume fraction, tortuosity, volume fraction of the skeleton and dead ends of an infinite cluster were determined depending on the size of metal particles in such systems.

Implementation of research results. Based on the results obtained on the study of the electrophysical properties of composite polymer materials containing micro- and nanoparticles of nickel:

the established regularities of the behavior of electrical conductivity, dielectric constant, thermal conductivity and thermoelectric power in the vicinity of the percolation threshold of percolation in composite materials based on heat-resistant polymers containing micro and nanoparticles of nickel, in the region of the percolation threshold, the elucidated mechanism of electric transport of charge carriers in them were used:

when conducting research at the Tashkent Institute of Railway Transport within the framework of the KA-12-004 applied project "Development of polymer metal-filled composite materials for the electrical industry" (certificate of the Ministry of Higher and Secondary Specialized Education of the Republic of

Uzbekistan No. 89-03-5080 dated December 04, 2020). The use of scientific results has made it possible to develop polymer metal-filled composite materials for the electrical industry;

foreign researchers (references in international scientific journals Journal of Nanophotonics, 2012, V.6(1), Springer, IF=1,889; Russian Journal of General Chemistry, 2020, T. 90, RG, IF=0,76; Nanotechnologies in Russia, 2015, v.10, Springer, IF=0,76) to explain the mechanisms of electrical conductivity of charge carriers and the properties of composites with nanosized particles. The application of scientific results has made it possible to obtain nanocomposite materials with unique properties;

composite polymer temperature sensors with a lower response limit ($\sim 60^\circ\text{C}$) based on local polyethylene containing nanodispersed nickel powders and a receiving station for these detectors have been developed. Regulatory and technical and design documentation for heat detectors and their receiving station were drawn up, laboratory tests were carried out (certificate of the Ministry of Higher and Secondary Specialized Education of the Republic of Uzbekistan No. 89-03-4892 dated November 23, 2020). The development of small-scale production of temperature sensors and a receiving station for them will reduce dependence on imports and reduce the cost of fire alarm systems, in comparison with systems based only on imported equipment.

ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РЎЙХАТИ

Список опубликованных работ

List of published works

I бўлим (I част; part I)

1. Боймуратов Ф. Т., Карабаева М.А, Хамидов Ш., Абдурахмонов У.Диэлектрические свойства полимерных композитов на основе полиарилата, содержащих наночастицы металлов.// Ж.Вестник НУУз.-Ташкент, 2005.-№3.-С.88-89. (01.00.00, №8).

2. Боймуратов Ф.Т, Юнусов А.Х., Абдурахманов У, Мухамедов Г. И. Топология бесконечного кластера в композиционных полимерных материалах содержащих наночастицы металлов.// Ж. Композиционные материалы-Ташкент, 2007. -№ 4. -С.17-21. (02.00.00, №4).

3. Боймуратов Ф.Т., Даминов А.Г., Абдурахманов У., Мухамедов Г.И., Юрков Г.Ю..Критический индекс электропроводности композиционных полимерных материалов, содержащих наночастицы металлов.//Журнал Доклады Академии Наук Республики Узбекистан.-Ташкент, 2008.-№ 3.-С. 33-36. (01.00.00, №7).

4. Боймуратов Ф.Т., Даминов А. Г., Абдурахманов У., Мухамедов Г.И. Природа механизма проводимости композиционных полимерных материалов, содержащих наночастицы металлов.// Ж. Композиционные материалы-Ташкент, 2008.-№ 3.-С.24-26. (02.00.00, №4).

5. Боймуратов Ф.Т., Даминов А.Г., Юнусов А.Х., Абдурахманов У., Мухамедов Г.И.. Композиционные наноматериалы: синтез и их электрические свойства.// Ж. Вестник НУУз. -Ташкент, 2009. -С.66-72. (01.00.00, №8).

6. Abdurakhmanov U., Boitmuratov F. T. , Mukhamedov G. I. , Fionov A. S. , Yurkov G. Yu. Electric conductivity of composite materials based on phenylon matrices and nickel particles. Communications Technology and Electronics, 2010, Vol. 55, No. 2, pp. 221–224. © Pleiades Publishing, Inc., 2010. Original Russian Text ©. **Scopus. Impact Factor/ 0.510**

7. Abdurakhmanov U., Boitmuratov F. T., Mukhamedov G. I., Fionov A. S., Yurkov G. Yu. The Permittivity of PhenyloneBased Composites with Nickel Particles. Journal of Communications Technology and Electronics, 2011, Vol. 56, No. 2, pp. 142–144. © Pleiades Publishing, Inc., 2011. Original Russian Text © **Scopus. Impact Factor/ 0.510**

8. Taratanov N.A., Yurkov G.Yu., Fionov A.S., Boymuratov F.T., Abdurakhmanov U., Kosobudsky I.D.. lead-containing composite nanomaterials based on polyethylene. Journal of Chemistry and Chemical Engineering 2010. Vol 52. №. 7. pp. 72-75. **Scopus. Impact Factor/ 0.472**

9. Боймуратов Ф. Т., Абдурахманов У., Умаров А.В., Даминов А.Г., Абдуллаев Р.М. Концентрационная зависимость электропроводности полимерных композитов, содержащих микро и наночастицы никеля.// Ж. Вестник НУУз.-Ташкент, 2013.-№1.- С. 91-94. (01.00.00, №8).

10. Боймуратов Ф.Т., Зайнутдинов А.Х., Умаров А.В., Абдурахманов У. Электропроводность композиционных полимерных материалов, содержащих микродисперсные частицы металлов с учетом теплового расширения наполнителя и полимера.// Ж. Композиционные материалы-Ташкент, 2013.-№ 2.-С.84-88. (02.00.00, №4).

11. Боймуратов Ф.Т., Гаффорий С.А., Юрков Г.Ю., Мухамедов Г.И. Усовершенствованная методика получения композиционных полимерных материалов, содержащих наночастицы металлов.// Ж. Вестник НУУз.-Ташкент, 2016.-№2/2. С.132-135. (01.00.00, №8).

12. Baymuratov F.T., Abdurakhmanov U., Yurkov G.Y., Umarov A.V. Local Energy of Activation of Conductivity of Phenylene-Based Composite Materials Containing Nickel Nanoparticles. IOSR Journal of Polymer and Textile Engineering (IOSR-JPTE), V 7, N 2, 2020, pp. 01-09. (**Impact Factor: 2.86**)

13. F.T. Boymuratov , U. Abdurakhmanov, G.Yu.Yurkov , M.A.Zakhidova, D.A.Begmatova, Sh.M.Sodikova, M.Karaboyeva, N.K.Abdullayev, R.Alimov. Conductivity And Permittivity Of Nickel-Nanoparticle-Containing Polymer Materials In The Vicinity Of Percolation Threshold.// Journal Solid State Technology. 2020. Volume: 63. Issue: 4. pp. 5551-5561 (**Scopus. Impact Factor: 0.101**)

II бўлим (II част; part II)

1. Abdurakhmanov U., Boymuratov F.T., Karabaeva M.A. Electrical properties and structure of nickel-nanoparticle containing polymeric materials.//European polymer congress 2005. MSU. Moscow, Russia june 27-july 1. Ref 2755. p.3.2-1.

2. Боймуратов Ф.Т., Абдурахманов У., Даминов А.Г., Мухамедов Г.И.. Кинетические явления в неоднородных материалах, содержащих наночастицы металлов//2-Международной научной конференции, «Физика и физическое образование: достижения и перспективы развития». Тез. докл.- Республика Кыргызстан, Бишкек, 2008. -С.25

3. Боймуратов Ф.Т., Абдурахманов У., Даминов А.Г., Мухамедов Г.И. Температурная зависимость проводимости в композиционных полимерных материалах, содержащих наночастицы металлов.//Композиционные материалы: структура, свойства и применение: Тез. докл. Республиканской научно-технической конф. 27-28 июнь 2008.-Ташкент,2008. -С.125-127.

4. Абдурахманов У., Боймуратов Ф.Т., Юрков Г.Ю., Мухамедов Г.И. Особенности электрофизических свойств композитных материалов, содержащих наночастицы металлов, в окрестности порога протекания// Республиканская научно-практическая конференция «Актуальные проблемы химии, физики и технологии полимеров». Тез. докл. –Ташкент, 9-10 ноября. 2009. –Ташкент, 2009. -С.93-95.

5. Daminov A.G. Boymuratov F.T., Abdurakhmanov U., Yurkov G.Yu., Mukhamedov G.I. Generalized conductivity in composition polymer nanomaterials. The 9th Joint Uzbek-Korea

Symposium «Quantum Functional Materials and Devices». Тез. докл. –Tashkent, 2- 5 november. 2010. – p. 35.

6. Боймуратов Ф.Т. Электрические свойства композиционных полимерных материалов, содержащих микро- и нано частицы никеля.// Материаловедческая конференция молодых ученых и одаренных студентов. "Роль одаренной молодежи в современной развитии физики" Тез. докл. –Ташкент, 27-28 апреля. 2012. Ташкент, 2012. –С.195-198.

7. Боймуратов Ф.Т. Абдурахманов У., Даминов А.Г., Зокидов Э.Р. Композиционные полимерные материалы, содержащие частицы металлов и элементы на их основе// Международная конференция. "Актуальные проблемы физической электроники" Тез. докл. –Ташкент, 28 ноября. 2012. Ташкент, 2012. –С.163.

8. Боймуратов Ф. Т., Даминов А.Г. Абдурахманов У., Умаров А.В., Локальная энергия активации проводимости композиционных материалов на основе фенилона, содержащих наночастицы никеля.//Международная научно-практическая конференция «Актуальные проблемы науки о полимерах» 5-7 ноября ташкент 2013.(ИХИФП).С.135-136.

9. Боймуратов Ф.Т., Абдурахманов У., Юрков Г.Ю., Мухамедов Г.И. Композиционные наноматериалы: синтез и разработка элементов с заданными физическими свойствами// Проблемы физики и роль одаренной молодежи в ее развитии- IX.Ташкент, 2016. С.283-285.

10. Боймуратов Ф.Т., Абдурахманов У. Квантово-размерные эффекты в композиционных материалах, содержащих наночастицы.// Седьмая Международная конференция по Физической Электронике. Сборник тез. докл. –Ташкент, 18-19 май. 2018. Ташкент, 2018. –С.139.

11. Боймуратов Ф.Т., Абдурахманов У.,Юрков Г.Ю.// Влияние размера частиц наполнителя на проводимость и диэлектрическую проницаемость металл - полимерных композитов. Международная научно-практическая конференция «Научные разработки: евразийский регион». Москва. 2019.С.199.