

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

ЎЗБЕКИСТОН МИЛЛИЙ УНИВЕРСИТЕТИ

МАТЯКУБОВ БЕКЗОД МАТНАЗАРОВИЧ

**ЮПҚА ҚАТЛАМЛИ ПОЛИМЕР МАТЕРИАЛЛАРНИНГ
АНИЗОТРОПИК ХОССАЛАРИ**

01.04.06 – Полимерлар физикаси

**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**

Матякубов Бекзод Матназарович

Юпқа қатламли полимер материалларнинг

анизотропик хоссалари3

Матякубов Бекзод Матназарович

Анизотропные свойства тонкослойных

полимерных материалов21

Matyakubov Bekzod Matnazarovich

Anisotropic properties of thin-layer polymer

materials.....39

Эълон қилинган ишлар рўйхати

Список опубликованных работ

List of published works.....43

**ПОЛИМЕРЛАР КИМЁСИ ВА ФИЗИКАСИ ИНСТИТУТИ
ХУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ
DSc.02/30.12.2019.K/FM/T.36.01 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

ЎЗБЕКИСТОН МИЛЛИЙ УНИВЕРСИТЕТИ

МАТЯКУБОВ БЕКЗОД МАТНАЗАРОВИЧ

**ЮПҚА ҚАТЛАМЛИ ПОЛИМЕР МАТЕРИАЛЛАРНИНГ
АНИЗОТРОПИК ХОССАЛАРИ**

01.04.06 – Полимерлар физикаси

**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 В2019.3.PhD/FM412 рақам билан рўйхатга олинган.

Диссертация Ўзбекистон миллий университетида бажарилган.

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

Илмий раҳбар: **Холмуминов Абдулфатто Ахатович**
физика-математика фанлари доктори, профессор

Расмий оппонентлар: **Абдурахманов Умарбек**
физика-математика фанлари доктори, профессор
Нургалиев Ильнар Накипович
физика-математика фанлари доктори

Етакчи ташкилот: **Самарқанд давлат университети**

Диссертация ҳимояси Полимерлар кимёси ва физикаси институти ҳузуридаги илмий даражалар берувчи DSc 02/30.12.2019. К/FM/Т.36.01 рақамли Илмий кенгашнинг 2021 йил «__» _____ соат ____ даги мажлисида бўлиб ўтади. (Манзил: 100128, Тошкент шаҳри, Абдулла Қодирий кўчаси, 7^б. Тел: (+99871) 241-85-94; факс: (+99871) 241-26-61, 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 реестр баённомаси).

С.Ш. Рашидова

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

М.М. Усманова

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

С.С. Негматов

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

КИРИШ (фалсафа доктори (PhD) диссертацияси аннотацияси)

Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати. Дунёда полимерлар асосидаги махсус плёнкасимон, юпқа қатламли нотўқима материаллар олишга ва уларнинг ташқи таъсирлар остида ночизикли деформацияланишини морфологик ҳолатига боғлиқ муҳим функционал ва анизотропик хоссаларини ўрганишга алоҳида эътибор берилмоқда. Бунда ламелляр ёки фибрилляр устмолекуляр тузилишли нано- ва микротолали нотўқима материалларнинг қайтар ва қайтмас деформацион ўзгаришларини баҳолаш, уларни оптик анизотропияси бўйича таҳлил қилиш, мустаҳкамлик чегараси ва функционал хоссаларини аниқлаш ушбу материалларни амалиётда қўллашда долзарб масалалардан бири ҳисобланади.

Бугунги кунда жаҳонда полимер микротолали ва электроспиннинг усулида олинган нанотолали юпқа қатламли материалларнинг механооптик хоссаларини қиёсий ўрганиш ҳамда улар асосида биофаол нотўқима “изотроп-анизотроп” материаллар олишга катта эътибор берилмоқда. Бу борада, юпқа қатламли полимер материалларнинг структуравий ва фазавий ўзгаришларини, деформацион, анизотропик, филтрлаш ва махсус физик-кимёвий хоссаларини аниқлаш каби йўналишларда мақсадли илмий изланишларни амалга ошириш муҳим аҳамият касб этади.

Республикамизда маҳаллий полимерлар асосида юпқа қатламли ғовакли плёнкасимон, толали нотўқима функционал фаол материаллар олиш ҳамда амалиётга тадбиқ қилишга доир илмий-амалий тадқиқотларга алоҳида эътибор қаратилмоқда. Жумладан, ламелляр ва фибрилляр тузилишли ғовакли юпқа қатламли полимер материаллардан тиббий-биологик қопламалар, комплекслар ва композитлар, биоэлементлар ва доривор воситаларни ташувчилар, ҳаво, газсимон ва суюқ моддаларни тозалашда селектив филтрлар сифатида жорий этиш бўйича муҳим натижалар қўлга киритилган. Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича “Ҳаракатлар стратегияси¹”да мамлакатимиз илм-фанини ривожлантириш ҳамда фундаментал тадқиқот натижаларини амалиётга тадбиқ қилиш вазифалари белгилаб берилган. Мазкур вазифаларни амалга ошириш учун функционал фаол гуруҳларга эга полимерлар асосида ноёб хоссали юпқа қатламли материаллар олишнинг оптимал шароитларини, ташқи деформацион таъсирлар остида структуравий ва фазавий ўзгаришларни тадқиқ қилиш, уларнинг тузилиши ва хоссаларини аниқлаш ҳамда амалиётда қўллашга йўналтирилган илмий-амалий тадқиқотлар муҳим аҳамиятга эга.

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги ПФ-4947-сонли «Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича ҳаракатлар стратегияси тўғрисида»ги Фармони, 2018 йил 25 октябрдаги ПҚ-3983-сонли «Ўзбекистон Республикаси кимё саноатини жадал ривожлантириш чора-тадбирлари тўғрисида»ги, 2018 йил 17 январдаги ПҚ-3479 сонли «Мамлакат иқтисодиёти тармоқларининг талаб юқори бўлган

¹ 2017 йил 07 февральдаги “Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегияси тўғрисида” Ўзбекистон Республикаси Президентининг Фармони.

махсулот ва хом ашё турлари билан барқарор таъминлаш чора-тадбирлари тўғрисида»ги, 2021 йил 19 мартдаги ПҚ-5032-сонли «Физика соҳасидаги таълим сифатини ошириш ва илмий тадқиқотларни ривожлантириш чора-тадбирлари тўғрисида»ги Қарорлари, шунингдек, мазкур фаолиятга тегишли бошқа меъерий-ҳуқуқий ҳужжатларда белгиланган вазифаларни амалга оширишга ушбу диссертация тадқиқоти муайян даражада хизмат қилади.

Тадқиқотнинг республика фан ва технологиялари ривожланишининг устувор йўналишларига боғлиқлиги. Мазкур тадқиқот республика фан ва технологиялар ривожланишининг VII. «Кимёвий технологиялар ва нанотехнологиялар» устувор йўналишига мувофиқ бажарилган.

Муаммонинг ўрганилганлик даражаси. Дунёнинг кўпгина мамлакатларида таркиби турлича устмолекуляр тузилишга эга ясси юпка қатламли полимер материаллар олиш ҳамда уларнинг физик-кимёвий хоссаларини ўрганиш ва улардан амалиётда фойдаланиш бўйича илмий изланишлар жадаллик билан олиб борилмоқда. Чоп этилган нашрларнинг кўпчилигида асосан юпка қатламли материалларнинг механик мустаҳкамлиги узиш машинаси ёрдамида тадқиқот қилиш орқали физик хоссаларини аниқлашга бағишланган. Полиэтилен плёнканинг ламелляр қатламларини деформацион чўзишда парчаланиб ориентацион тартибланиши рентгеноструктуравий таҳлили ҳамда табиий ипак фиброинининг ориентацион кристалланиши механизмларини ўрганиш бўйича илмий йўналишларни ривожлантиришга А. Келлер, С.Я. Френкель ва қатор илмий мактаблар катта ҳисса қўшишган. Ипак фиброини асосида толали юпка қатламли ғовакли материаллар шакллантириш ҳамда полиэтиленоксид, полистирол молекулаларининг бўйлама майдонда юқори даража ориентацион тартибланишини оптик анизотропияси бўйича баҳолашга оид соҳаларда W. Zhou, J. He ва бошқа олимларнинг илмий ишларини таъкидлаб ўтиш зарур.

Республикамизда мазкур йўналиш ривожланишига С.Ш. Рашидова, С.С. Негматов, Н.Р. Ашуров, А.А. Холмуминов ва бошқалар ўзларининг изланишларида махсус физик-кимёвий хоссаларга эга бўлган табиий биологик фаол полимерлар асосида янги материалларни синтези ҳамда амалиётга жорий қилишга ўз ҳиссаларини қўшишган.

Ушбу изланишларга қадар адабиётларда юпка қатламли полимер материалларнинг қайтар ва қайтмас деформацион ўзгаришларини назорат қилиш, “изотроп-анизотроп” ўтишларини аниқлаш ҳамда уларнинг физик моҳиятини оптик анизотропияси бўйича ўрганишга принципиал ёндашилган илмий тадқиқот ишлари кам олиб борилган. Ҳозирда юпка қатламли полимер материалларнинг физик ва эксплуатацион хоссаларини тадқиқот қилиш, бунинг принципиал илмий ечимларни берадиган махсус қурилма ва моделларини яратиш, ушбу материалларнинг плёнкалар, ламинатлар, сенсорлар, очик яраларни сиртини қопловчи функционал-биофаол қопламалар сифатида амалиётда қўлланилиши истиқболларини яратади.

Диссертация мавзусининг диссертация бажарилган олий таълим муассасаси илмий-тадқиқот ишлари билан боғлиқлиги. Диссертация тадқиқоти Ўзбекистон миллий университети илмий тадқиқот ишлари режасининг Ф-А-2018-033 “Табиий ипак ва пахта чиқиндиларидан нанотолали наноғовакли материаллар олишнинг электроспиннинг усулини такомиллаштириш” (2018-2020 йй) мавзусидаги амалий лойиҳа доирасида бажарилган.

Тадқиқотнинг мақсади полиэтилен, фиброин ва акрилонитрил сополимери асосидаги ламелляр ва фибрилляр тузилишли юпқа қатламли ғовакли материаллар деформацион ўзгаришлари ва функционал фаоллигини оптик анизотропиясига боғлиқлик хусусиятларини аниқлашдан иборатдир.

Тадқиқот вазифалари:

полиэтилен, фиброин ва акрилонитрил сополимерининг молекуляр ва устмолекуляр тузилишлари ҳамда анизотропик хоссаларини аниқлаш;

полиэтилен асосидаги ламелляр тузилишли юпқа қатламли материаллар деформацион ўзгаришларини оптик анизотропиясига боғлиқлигини тадқиқот қилиш ва физик принципларини аниқлаш;

фиброин ва акрилонитрил сополимери асосидаги фибрилляр тузилишли юпқа қатламли нотўқима изотроп-анизотроп материаллар шакллантириш ҳамда уларнинг деформацион ўзгаришини оптик анизотропияга боғлиқлик хусусиятларини аниқлаш;

юпқа қатламли изотроп-анизотроп нотўқима полимер материалларнинг турли муҳитларда анизотроп ҳолатига боғлиқ ноёб ва махсус хоссаларини намоён бўлиш хусусиятларини аниқлаш.

Тадқиқот объекти – полиэтилен, фиброин ва акрилонитрил сополимери.

Тадқиқот предмети – полиэтилен, фиброин, акрилонитрил сополимери намуналарининг молекуляр тавсифлари, улар асосидаги юпқа қатламли ламелляр ва фибрилляр устмолекуляр тузилишли материалларнинг деформацион ўзгаришлари ва механик парчаланиши ҳамда ушбу жараёнларни оптик анизотропияси билан боғлиқлик принциплари ва функционал фаоллигини намоён қилишининг илмий асосларини аниқлашдан иборат.

Тадқиқот усуллари. Тадқиқотларда гидродинамик, реологик, поляризация-оптик, электроспиннинг, растрли электрон микроскопия, сорбцион таҳлил, дзета-потенциал усулларидан фойдаланилган.

Тадқиқотининг илмий янгиллиги қуйидагилардан иборат:

илк маротаба, фибрилляр устмолекуляр тузилишли полимерлар асосида юпқа қатламли нотўқима изотроп-анизотроп материаллар шакллантиришнинг оптимал параметрлари аниқланган;

илк маротаба юпқа қатламли фибрилляр тузилишли полимер материалларнинг деформацион ўзгаришини оптик анизотропияга чизиқли боғланиши кўрсатиб берилган ҳамда ориентация факторини нисбий узайишга боғланиш функцияси ва коэффициенти аниқланган;

илк маротаба, плёнкасимон ламелляр тузилишли юпқа қатламли полимер материалларнинг бир томонлама ва симметрик чўзишда деформацион

ўзгаришларини оптик анизотропияси бўйича назорат қилишнинг физик принциплари кўрсатиб берилган;

ипак фиброини ва акрилонитрил сополимери толалари асосида юпқа қатламли материаллар олинган ҳамда уларнинг сирт фаоллигини намоён қилиш хусусиятларининг анизотропик эффектларга боғлиқлиги сорбцион, филтрлаш, дзета-потенциал усуллари ёрдамида аниқланган.

Тадқиқотнинг амалий натижалари қуйидагилардан иборат:

полиэтилен асосидаги ламелляр тузилишли юпқа қатламли материалларни бир томонлама ва симметрик чўзишни поляризация-оптик усулда назорат қилиш нозикли деформацион ўзгаришлар рўй бериши кўрсатилган ҳамда унинг асосида ориентация факторини нисбий деформацияга боғланиш функциясини тузилган;

фиброин ва акрилонитрил сополимер асосида фибрилляр тузилишли нотўқима изотроп-анизотроп ва юпқа қатламли материаллар олинган, микро- ва нанотолали материалларнинг қиёсий тадқиқотлари асосида ориентация факторини нисбий деформацияга чизикли боғланиш функцияси тузилган ҳамда структуравий ва физик-кимёвий хоссалари аниқланган.

Тадқиқот натижаларининг ишончилиги. Илмий тадқиқотлар олиб боришда ўлчашлар талаб этиладиган ишончилик доирасида амалга оширилган ва статистик қайта ишланган, экспериментал натижалар мавжуд назарий ва бошқа етакчи олимларнинг натижалари билан таққослаш асосида олиб борилган. Олинган натижаларнинг тасдиғи сифатида республика ва ҳалқаро илмий конференцияларда муҳокамалар қилинган.

Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти.

Тадқиқот натижаларининг илмий аҳамияти шундан иборатки, фиброин ва акрилонитрил сополимери асосида изотроп-анизотроп нотўқима материаллар олишнинг оптимал параметрлари ҳамда уларнинг муҳим структуравий тавсифлари ва эксплуатацион, анизотропик, сирт фаоллик, физик-кимёвий хоссалари аниқланган. Юпқа қатламли нано ва микротолали ғовакли материалларнинг механик хоссалари оптик анизотропик эффектлари билан боғлиқлигини тавсифловчи функциялар таклиф этилган ҳамда боғланиш коэффициенти қийматлари аниқланган.

Тадқиқот натижаларининг амалий аҳамияти юпқа қатламли полимер материалларни деформацион ўзгаришини поляризация-оптик усулда назорат қилиш, ташқи механик таъсирларга чидамлик, мустаҳкамлик чегараси, термик хусусиятларини аниқлашда қўлланиладиган механооптик қурилма ишлаб чиқилганлиги билан эътироф этилади. Илмий тадқиқотлар натижалари экцентрик-айланувчи экран билан такомиллаштирилган электроспиннинг усулида биологик фаол хусусиятларга эга ғовакли нотўқима материаллар олишда қўлланилган. Натижалар юпқа қатламли нотўқима материалларни очиқ яраларни битишида қопловчи биофаол восита сифатида қўллаш имкониятлари мавжудлигини кўрсатган.

Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши. Юпқа қатламли полимер материалларнинг анизотропик хоссалари бўйича олинган илмий натижалар асосида:

биомойил акрилонитрил сополимери асосидаги нанотолали нотўқима материални асос сифатида ва унинг сиртида биофаол фиброин асосида қатлам шакллантириб, ушбу нанотолали юпқа қатламли нотўқима материаллар очик терини битишида қопловчи биофаол восита сифатида Ўзбекистон Республикаси соғлиқни сақлаш вазирлиги қошидаги республика ихтисослаштирилган дермотология ва венерология илмий-амалий тиббиёт марказида қўлланилган (Ўзбекистон Республикаси соғлиқни сақлаш вазирлиги санитария-эпидемиологик осойишталик ва жамоат саломатлиги хизматининг 2020 йил 16 ноябрдаги №04-8/388 сон маълумотномаси). Натижада юпқа қатламли нанотолали нотўқима материалнинг очик яраларни даволашда самарали восита сифатида амалий қўллаш имкониятига эга эканлигини кўрсатган;

акрилонитрил сополимери ва ипак фиброини эритмаларидан нанотолали нотўқима материаллар шакллантириш принципи ва юпқа қатламли полимер материалларнинг структуравий ўзгаришларини оптик анизотропияси бўйича таҳлил қилиш натижалари, деформацион жараёнларни поляризацион-оптик усулда назорат қилиш қурилмаси Ўзбекистон миллий университети тадқиқот ишлари режасининг А-4-13 рақамли “Электроспиннинг усулида фиброин, хитозан ва акрилонитрил сополимери асосида нанотолали нотўқима материаллар олиш технологиясини ишлаб чиқиш” (2015-2017 йй) мавзусидаги амалий лойиҳани бажаришда қўлланилган (Ўзбекистон Республикаси Олий ва ўрта махсус таълим вазирлигининг 2020 йил 11 сентябрдаги №89-03-3244 – сонли маълумотномаси). Натижада нанотолали материалларнинг механик ва термик таъсирлар остида қайтар ва қайтмас деформацион ўзгаришлари ҳамда парчаланишини оптик анизотропияси бўйича назорат қилиш ва тадқиқот қилиш имконини берган.

Тадқиқот натижаларининг апробацияси. Диссертация бўйича олинган асосий натижалар 3 та халқаро ва 5 та республика илмий-амалий анжуманларида муҳокамадан ўтказилган.

Тадқиқот натижаларининг эълон қилиниши. Диссертация мавзуси бўйича жами 17 та илмий иш чоп этилган, шулардан, Ўзбекистон Республикаси Олий аттестация комиссиясининг фалсафа докторлик (PhD) диссертациялари асосий илмий натижаларини чоп этиш тавсия этилган илмий нашрларда 9 та мақола, шу жумладан, 5 таси республика ва 4 таси хорижий журналларда нашр этилган.

Диссертациянинг тузилиши ва ҳажми. Диссертация таркиби кириш, тўртта боб, хулоса, фойдаланилган адабиётлар рўйхати ва иловалардан иборат. Диссертация ҳажми 100 бетни ташкил этади.

ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

Кириш қисмида диссертация долзарблиги ва зарурати, тадқиқотнинг республика фан ва технологияларини ривожлантиришнинг устувор йўналишларига мослиги асосланган. Диссертация мавзуси бўйича муаммонинг ўрганилганлик даражаси келтирилган, тадқиқотнинг мақсади ва вазибалари, объектлари ва предмети кўрсатилган, унинг илмий янгилиги ва амалий натижалари баён қилинган, олинган натижаларнинг назарий ва амалий аҳамияти очиб берилган, тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши, диссертация тузилиши ва нашр қилинган илмий ишлар тўғрисида маълумотлар келтирилган.

Диссертациянинг **“Юпқа полимер материаллар анизотропик тавсифлари ҳақидаги умумий тасаввурлар”** деб номланган биринчи бобида турли устмолекуляр (ламелляр, фибрилляр) тузилишга эга юпқа қатламли функционал полимер материаллар тавсифлари, уларда механик, оптик анизотропик эффектларни намоён бўлиш принциплари бўйича адабиётлар шарҳи баён этилган. Диссертацияда ҳал қилинадиган муаммоларнинг ҳозирги замон ҳолати ва фойдаланилган асосий усуллар ҳамда ёндашувларнинг тавсифи келтирилган.

Диссертациянинг **“Тадқиқот объектлари ва усуллари”** деб номланган иккинчи бобида танланган полимер объектлар тавсифлари, ламелляр ва фибрилляр устмолекуляр тузилишга ясси ва толалари турлича қалинликда бўлган юпқа қатламли нотўқима материаллар олиш, гидродинамик, реологик усулларда ҳамда деформацион ва анизотропик хоссаларини тадқиқот қилишнинг поляризацион-оптик, электрон микроскопия усуллари, функционал ва сирт фаолликни аниқлашнинг сорбцион ва дзета-потенциал усуллари тўғрисида маълумот келтирилган.

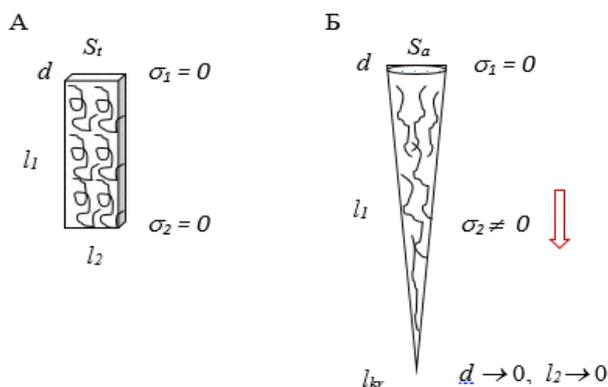
Диссертациянинг **“Юпқа қатламли ламелляр полимер материалларнинг деформацион ва анизотропик хоссаларини боғлиқлиги”** деб номланган учинчи бобида ясси ламелляр қатламли полиэтилен плёнканинг бир томонлама ва симметрик чўзишда рўй берадиган деформацион ўзгаришлар ва парчаланишларни тадқиқот қилиш учун махсус йиғилган “механооптик” қурилма ёрдамида деформацион ўзгаришларни оптик анизотропик эффектлар бўйича назорат ва тадқиқот қилишнинг физик принциплари кўрсатиб берилган.

Тадқиқотлар ўтказиш учун “узиш машинаси” принципида ишлайдиган, тасмасимон намунанинг бир томонлама ва симметрик тарзда механик чўзишни амалга оширадиган, жараёни поляризацион-оптик микроскоп усулида тадқиқот қилиш имконини берадиган “механооптик” қурилма йиғилган. Қурилманинг механик қисмда намуна тасма учидан пастга вертикал йўналишда бир текисда тортилади ва узилгунга қадар деформацион чўзилади. Узилиш мустақамлиги (σ_r) ва нисбий узайиш (ε_r) кўрсаткичлари ГОСТ 14236-81 бўйича аниқланади:

$$\sigma_r = F_r / A_0 \quad (1)$$

$$\varepsilon_r = \frac{\Delta l_{or}}{l_0} \cdot 100\% \quad (2)$$

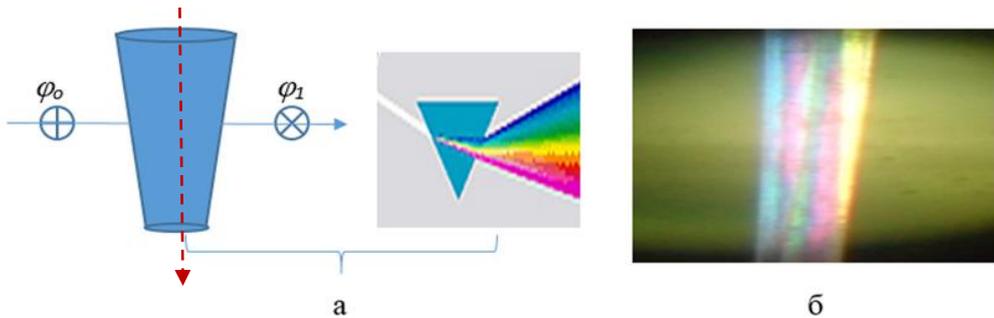
бу ерда F_r – узилиш пайтида чўзиш кучланиши, Н; A_0 – намунанинг бошланғич кўндаланг кесими, мм²; Δl_{or} – намунанинг узилиш пайтидаги узунлигини ўзгариши, мм; l_0 – намунанинг бошланғич узунлиги, мм; σ_r – механик кучланиш, МПа. Амалга ошириладиган жараён 1–расмдаги чизма орқали тушунтирилади. Дастлаб А ҳолатда тасманинг учларида механик кучланиш ($\sigma_1 = \sigma_2 = 0$) бўлмайди ҳамда унинг узунлиги (l_1), эни (l_2) ва қалинлиги (d), умуман тавсифли $S_t = l_2 \cdot d$ юзаси, ҳажми V_t ва массаси m_t ўзгармайди. Сўнг Б ҳолатда, барабан–мотовило бир хил частотада ($\omega_{айл}$) айлантдирилади ва $\sigma_1 < \sigma_2 \neq 0$ шарт бажарилади, тасма узунлиги бўйлаб динамометрдан барабан-мотовило томон чўзила бошлайди ва параллелепипедсимон (А) шакли конуссимон (Б) шаклга айланиб узлуксиз узайиб, ингичкалашиб боради.



1-расм. Параллелепипедсимон тасманинг (А) деформацион чўзиш орқали конуссимон (Б) шаклга ўтиши ва узилишини принципиал чизмаси

Конуссимон тасманинг узунлиги (l_1) критик миқдорга $l_1 = l_{кр}$ етганда $l_2 \rightarrow 0$ ва $d \rightarrow 0$ шарт бажарилади ва тасма узилади. Тавсифли S_t тўртбурчак юза деформацион ўзгариш туфайли $S_a = \pi \left(\frac{d}{2}\right)^2$ думалоқ юзага айланади. Деформацион чўзишда тасманинг массаси m_t ўзгармайди, аммо таркибий элементлар деформацион-ориентацион тартибланиб, зичлашиши ҳисобига намунанинг ҳажми (V_t) кичрайиши кузатилади. Оптик қисмда намуна тасма (1) поляризатор (2) ва анализатор (3)

оралиғида поляризацион (кутбланган) монохроматик нурга перпендикуляр ўрнатилади. Нурнинг тўлқин узунлиги $\lambda = 560$ нм бўлиб, у ЖЗ-6 филтър воситасида ажратиб олинади ва линзалар ёрдамида параллел нур дастасига айлантдирилган тарзда бир чизикда поляроид, намуна, объектив, анализатор ва окуляр (4) орқали ўтади. Нур поляриодда кутбланади, яъни оддий ва ғайри оддий нурларга ажралади. Оддий нур намунанинг деформацион чўзилиши, яъни шакли ва таркибий элементларини жойлашиш тартибини ўзгартириши туфайли маълум φ_1 бурчакка бурилади ва бу оптик анизотропик эффект сифатида окуляр орқали визуаль кузатилади (2-расм). Анализатор ўрнатилган махсус нониусли лимб воситасида оддий ва ғайри оддий нурлар ўртасидаги фарқлар, яъни оптик “қора” фон (φ_0) ва оптик анизотропиянинг марказидаги “ёрқин” соҳа (φ_1) ўртасидаги фарқлар ($\Delta\varphi$) ҳамда окулярдаги микрошкала ёрдамида тасманинг қалинлиги (d) ўлчанди.



2-расм. Плёнка тасманинг деформацион чўзишда оптик анизотропиясини намоён бўлишининг принципиал чизмаси (а) ва микрофотографияси (б)

Намуна тасманинг дастлабки кўш нурни синиш кўрсатгичи

$$\Delta n_0 = \frac{\lambda \Delta \varphi_0}{180 d_0} \quad (3)$$

ва деформацион ўзгаришлар пайтидаги миқдори

$$\Delta n_i = \frac{\lambda \Delta \varphi_i}{180 d_i} \quad (4)$$

топилди, уларнинг нисбати бўйича ориентация фактори (β), яъни анизотропик тавсифлар аниқланди

$$\beta = \left[\frac{\Delta n_i - \Delta n_0}{\Delta n_i} \right]^{0,5} \quad (5)$$

Тажрибалар уч хил (ω) режимда олинган ва турли қалинликга (d) эга бўлган юпқа плёнка тасмаларда, уларни бўйлама ва кўндаланг йўналишларда “механооптик” қурилманинг барабан-мотовилосини айланиш частотаси $\omega = 1$ см/сек деформацион чўзиш принципида ўтказилди. Бунда намуналарнинг механик анизотропияси $A_M = \frac{\sigma_b}{\sigma_k}$ ва оптик анизотропияси $A_0 = \frac{\beta_b}{\beta_k}$ аниқланди. Натижалар 1-жадвалда келтирилган.

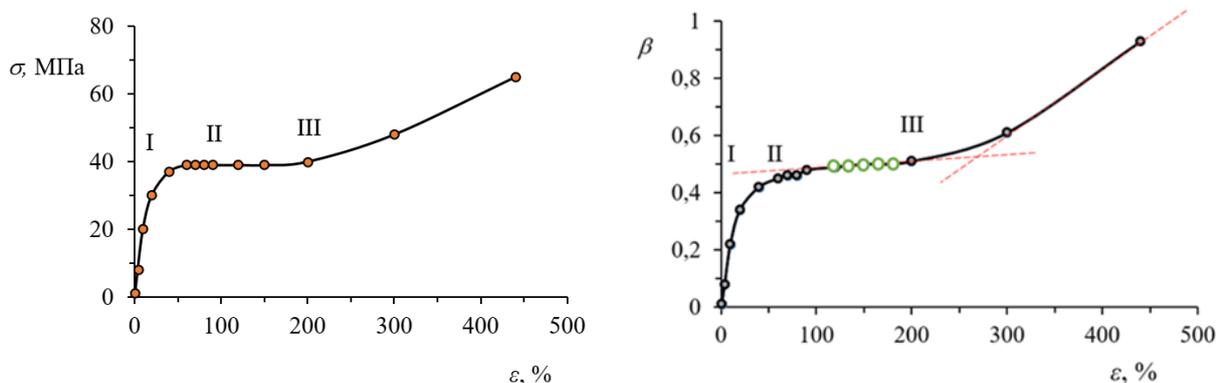
1-жадвал. Юпқа тасмаларнинг деформацион чўзишдаги кўрсатгичлари

ω айл/мин	d , мкм	Тасманинг узилишидаги кўрсатгичлари						$A_M = \frac{\sigma_b}{\sigma_k}$	$A_0 = \frac{\beta_b}{\beta_k}$
		Бўйлама чўзишда			Кўндаланг чўзишда				
		σ_b , МПа	ε_b , %	β_b	σ_k , МПа	ε_k , %	β_k		
2,0	50	68	539	0,91	64	530	0,82	1,10	1,12
3,5	41	76	390	0,94	42	294	0,55	1,81	1,72
4,5	36	81	335	0,96	35	214	0,43	2,31	2,24

Натижаларни қиёсий таҳлил қилиш, $\omega_{бм} = 2$ айл/мин тезлигида шакллантирилган плёнка намуналари “бўйи” ва “эни” бўйича чўзилганда узилиш мустақамлиги миқдорлари ва нисбий узайиш кўрсатгичлари бир бирига яқин механик ва оптик анизотропиялари 1,10 - 1,12 атрофидадир. Бу намунада макромолекулар тартибсиз изотроп ҳолатда жойлашганини кўрсатади. Кейинги $\omega_{бм} = 3,5$ айл/мин ва $\omega_{бм} = 4,5$ айл/мин режимларда

олинган плёнка намуналар “бўйи” ва “эни” бўйича чўзилганда, “эни” бўйича кўрсаткичларни “бўйи” бўйича кўрсаткичларга нисбатан анча кичик бўлиши аниқланди. Бу ҳол ушбу плёнкаларни анизотроп, яъни улар шаклланаётганда макромолекулалар ориентацион тартибланган ҳолатга устмолекуляр структура ҳосил қилганлигидан далолат беради.

Юпқа полимер материаллар, яъни плёнка ва тасмалар бир томонлама деформацион чўзилганда, уларда рўй берадиган жараёнларни шартли тарзда икки типга ажратиш мумкин, яъни: - биринчиси, материалнинг параллеллепидсимон шаклини конуссимон шаклга айланиши бўлиб, бундай шакл ўзгариши анизотропик ўзгариш эмас; - иккинчиси, материал таркибидаги макромолекулалар, устмолекуляр тузилишли ламеллалар, фибриллалар, нанотолаларнинг деформацион-ориентацион тартибланиб, изотроп ҳолатдан анизотроп ҳолатга ўтишидир. Буни тадқиқот қилишда намуна тасманинг ўртасидан поляризацион нурни перпендикуляр тарзда ўтиши ва икки учидан симметрик тарзда деформацион чўзилиши муҳимдир. Буни амалга ошириш учун “механооптик” қурилма такомиллаштирилди. Унда изотроп полиэтилен тасма симметрик тарзда $\omega = 1$ см/сек тезликда чўзилганда, нисбий узайишни (ϵ_6) ва ориентация факторини (β) чўзиш кучланиши (σ_6) боғланиши графикларида учта тавсифли соҳа аниқланди (3-расм). Бунда I- ва III-соҳадаги эффектлар тасманинг ҳажмий деформацион чўзилиши амалга оширилганлиги билан изоҳланади. II – соҳада тасманинг ички молекуляр сегментал ўзгариш, яъни деформацион-ориентацион тартибланиши чўзиш кучланишининг нисбатан камроқ сарфланиши ҳисобига анизотроп ҳолатга ўтиши амалга ошганлиги билан эътироф этилади.



3-расм. Полиэтилен плёнканинг чўзиш кучланишини (σ) ва ориентация факторини (β) нисбий деформацион узайишга (ϵ) боғлиқлиги

Бевосита кузатилган ушбу оптик анизотропик эффектларни ифодаловчи микрофотосуратлар 4-расмда келтирилган. Тадқиқотларда деформацион чўзиш йўналишига перпендикуляр тарзда плёнкани қатламга ажралиши ва ажралган жойидан симметрик равишда юпқалашиб, узайиши кузатилди. Тасманинг қатламга ажралиб, юпқалашган жойи нисбатан кўпроқ шаффоф, оптик анизотропияси ёрқинроқ эканлиги аниқланди. Буни ўлчаш натижалари асосида тузилган оптик анизотропиянинг нисбий узайишга боғлиқлик графиги юқоридаги 3-расмда келтирилган.



А) $\beta = 0,3$, $\varepsilon_6 = 20\%$

Б) $\beta = 0,5$, $\varepsilon_6 = 90\%$

С) $\beta \geq 0,9$, $\varepsilon \geq 440\%$

4-расм. ПЭ плёнкани симметрик чўзишда оптик анизотропиясининг ўзгариши

Тасма деформацион чўзилиб, узилиш чегарасига яқинлашганда оптик анизотропиянинг турли рангли Ньютон дифракцион тасвирлари йўқолиб, ёрқин оқ рангли тусга ўтади ва ориентация фактори $\beta \geq 0,9$ дан ошади. Тасманинг узилиш momentiда $\beta \geq 0,95$ катта бўлади. Бунда тасманинг ёрқин оқ рангга ўтиши Ньютон призмасига хос дифракцион эффектни кузатилмай қолганлиги, яъни макромолекулаларнинг юқори даражада ориентацион жипслашишидир. Бунга асосий сабаб деформацион чўзишнинг юқори босқичларида тасманинг энини торайиб бориши туфайли макромолекулалар зичлашиши ҳамдир.

Графикдаги III-соҳани оқиш, яъни қатламли силжишни ифодалашини ва оптик анизотропияни турли тусли интерференцион тасвирини аста секин йўқолиб оқ тусга ўтишини инobatга олсак, бу соҳада β дастлаб секин, сўнг кескинроқ ўзгаришини қуйидагича изохлаш мумкин: $\varepsilon = 100 - 200\%$ оралиғида $\beta = 0,4 - 0,5$ сингари секин ошиши, макромолекуляр қатламларни ўзаро силжиши туфайли бўлса, $\varepsilon = 300 - 400\%$ оралиғида $\beta = 0,5 - 0,9$ гача кескинроқ ошиши алоҳида олинган макромолекулаларнинг бир-бирига нисбатан силжиши билан боғлиқдир. Шунга биноан ҳар бир оралик учун ориентация факторини нисбий деформацион узайишга боғлиқлигини қуйидаги икки хил коэффициентга эга (k_1 ва k_2) функциялар билан ифодалаш мумкин:

$$\beta = k_1 \varepsilon = 0,001\varepsilon \quad (6)$$

$$\beta = k_2 \varepsilon = 0,004\varepsilon \quad (7)$$

Ушбу функциялар деформацион чўзишда макромолекуляр қатлами ва алоҳида олинган макромолекулаларнинг силжишини аниқлашда ҳамда мустаҳкамлик чегарасига яқинлашилаётганлиги ҳақида маълумот олишда муҳим роль ўйнайди.

Шундай қилиб, юпка плёнка тасма симметрик тарзда деформацион чўзилганда чўзиш кучланишига боғлиқ ҳолда тасма таркибий элементлари кучли деформацион ўзгариши, қатламларга ажралиши ва парчаланиши амалга ошиши ва бу жараёнларни оптик анизотропияга синхрон тарзда боғлиқ равишда амалга ошиши аниқланди. Бу ҳол оптик анизотропик эффектлар бўйича юпка материалларда рўй берадиган деформацион ўзгаришларни бевосита тадқиқот қилиш имкониятларини кўрсатди.

Диссертациянинг “Юпка қатламли нотўқима полимер материалларнинг анизотропик эффектлари” деб номланган тўртинчи бобида функционал фаол биополимерлар – фиброин (ФБ) ва акрилонитрил

сополимери (Со-АН) асосида нанотолали нотўқима юпка қатламли материаллар олиш, “изотроп-анизотроп” хоссаларини бевосита нотўқима структуралар шакллантиришда бошқариш, анизотропик эффектларининг функционал фаоллик хоссаларини намоён қилишига таъсирини ўрганиш бўйича натижалар муҳокама этилган.

Ушбу полимерларда функционал ионоген гуруҳлар бўлиб, уларнинг фаоллиги нотўқима материалларда намоён бўлиши шубҳасиздир. Аммо функционал хоссалар кўп жиҳатдан ионоген гуруҳлар миқдорига, яъни полимернинг молекуляр массасига ва толаларнинг нотўқима материалда “изотроп-анизотроп” ҳолатда жойлашишига боғлиқ. Буни инобатга олиб, ФБ ва Со-АН нинг молекуляр массалари ва полиэлектролит эритмаларининг оқувчанлик табиати вискозиметрик ва реологик усулларда тадқиқот қилинган.

ФБ + 2,5 М LiCl-ДМФА ва Со-АН + 51,5 % NaCNS эритмаларининг вискозиметрик тадқиқотлари Хаггинс қонуни бўйича ўтказилиб, тавсифли қовушоқликлари $[\eta] = 0,95$ дл/г ва $[\eta] \approx 2,0$ мл/г эканлиги аниқланган. Улар асосида Марк-Кунн-Хаувинк тенгламаси бўйича M_η миқдорлари ҳисобланди:

$$\begin{array}{ll} \text{ФБ учун} & M_\eta = ([\eta/1,23 \cdot 10^{-3}])^{1/0,91} = 220000 \\ \text{Со-АН учун} & M_\eta = ([\eta/2,3 \cdot 10^{-4}])^{1/0,78} = 115000 \end{array}$$

Турли ҳароратда реологик тадқиқотлар ўтказилиб, Френкель-Эйринг $\ln\eta = \ln A + E_a/RT$ тенгламаси бўйича $\ln\eta$ нинг $1/T$ га боғланиш графигини тузиб, оғиш бурчагидан қовушоқ оқим фаоллик энергияси миқдори (E_a) нинг миқдорлари ҳисоблаб топилди:

$$\begin{array}{ll} \text{ФБ} & \text{учун} & E_a = 24 \text{ кДж/моль} \\ \text{Со-АН} & \text{учун} & E_a = 20 \text{ кДж/моль} \end{array}$$

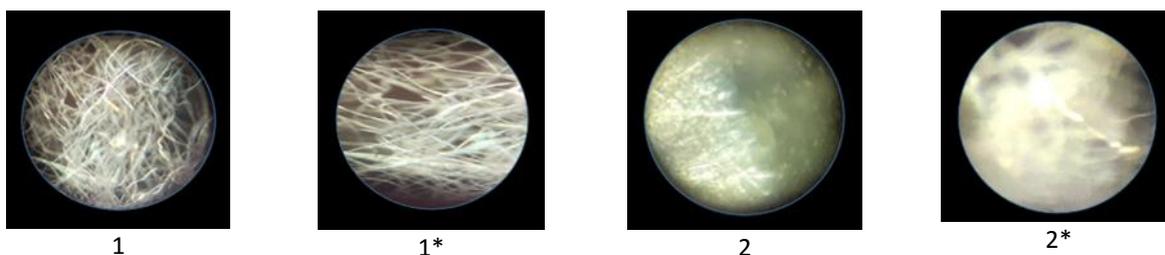
E_a миқдорлари макромолекулаларнинг оқимдаги ўзаро таъсирлашиши водород боғлари энергиялари диапазонида рўй беришидан далолат беради, яъни оқимда полимерлар кимёвий синтези ва деструкцияси кузатилмайди.

Одатда қалинлиги 100 мкм дан кичик нотўқима полимер материалларнинг асосини фибрилляр тузилишли микротолалар ташкил этади. Микротолалар оптик анизотропияси, яъни ориентация фактори $\beta \geq 0,8$ катта бўлсада, уларнинг тартибсиз жойлашиши материаллар ориентация факторини $\beta \leq 0,5$ дан ошмаслига, яъни материални изотроп-анизотроп хоссали бўлишига сабаб бўлади. Микротолалар орасида ғовакликларнинг мавжудлиги, уларни ташқи таъсирлар остида осонгина деформацион ўзгаришлар намоён қилиши ва натижада изотроп-анизотроп ҳолатини ўзгариши кузатилади. Буни механооптик қурилмада нотўқима материални симметрик чўзишда рўй берадиган деформацион ўзгаришни кўшимча тарзда қўлланадиган поляризацион-оптик усулда оптик анизотропиясини назорат қилиш орқали тадқиқот қилиш мумкин. Кейинги пайтда нанотолали нотўқима полимер материаллар ҳам шакллантирилаяпти ва уларнинг микротолалардан фарқли ўлчамига боғлиқ нанообъектларга хос функционал сирт ва биофаоллик

хоссаларини ёрқин намоён қилиши деформацион ўзгаришлар пайтида жиддий мураккабликларни келтириб чиқаради. Бундай ноёб хусусиятларни фарқлаб олишда микротолалар билан қиёсий таққослаш муҳим аҳамият касб этади.

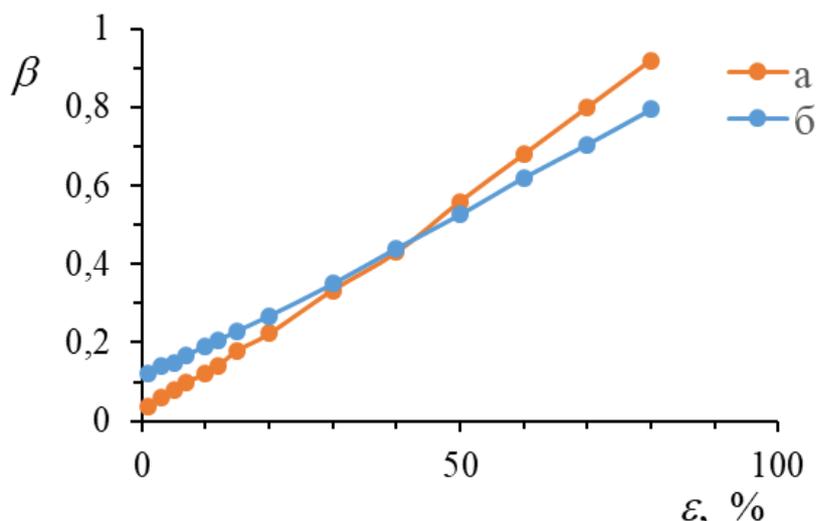
Микро ва нанотолали юпқа материалларни деформацион ва шу каби бошқа физик хоссаларини қиёсий таққослаш тадқиқотларини ўтказишда, уларнинг материаллардаги анизотропик ҳолатини ифодаловчи ориентация факторининг бир хил бўлиши ўта муҳимдир. Фиброин микротолали ва нанотолали юпқа материаллар қиёсий таққосланадиган бўлса, микротолали юпқа материални ипак пилласидан ажратиб олиш мумкин ва ундаги микротолаларнинг ориентация фактори $\beta \approx 0,5 \div 0,6$. Бундан келиб чиқадики, нанотолали материалнинг ҳам ориентация фактори шу миқдорга каби бўлиши керак. Бундай нанотолали материални электроспиннинг усули олиш мумкин бўлиб, нанотолаларнинг керакли даражада ориентация факторига эга бўлишини электроспиннинг усулида эксцентрик-айланувчи экран қўллаш орқали эришиш мумкин.

Тадқиқот олиб бориш учун фиброиннинг микротолали (МТ) ва нанотолали (НТ) юпқа қатламли (қалинлиги 50 мкм) нотўқима материаллари танланди ва улардан узунлиги 4 см ва эни 1 см бўлган намуналар тайёрланди. Тадқиқотлар “механооптик” курилмада намуналарнинг 1 см/мин тезликда симметрик чўзишдаги деформацион ўзгаришлари оптик анизотропиясини назорат қилиш орқали амалга оширилди. Намуналарнинг деформацион ўзгариши, яъни нисбий узайиши (ε) то уларни механик узилиб кетгунча олиб борилди. Жараён бевосита поляризация-оптик тизим ёрдамида қўш нурни синиши бўйича фазалар фарқини ($\Delta\varphi$) хар 0,5 см узайишда ўлчаш принципида олиб борилди. Намуналарнинг оптик анизотропиясини ўзгаришини ифодаловчи микрофототасвирлар 5-расмда келтирилган.



5-расм. Фиброиннинг микро- ва нанотолали юпқа материалларининг анизотропик эффектлари: 1 – МТМ $\varepsilon = 0\%$; 1* - МТМ $\varepsilon = 100\%$; 2 – НТМ $\varepsilon = 0\%$; 2* - НТМ $\varepsilon = 100\%$;

Нисбий узайиш $\varepsilon > 100\%$ дан ошгандан сўнг микротолали ва нанотолали юпқа материалларда чўзишдаги узилиш эффекти кузатилди. Аммо $0 < \varepsilon < 100\%$ оралик диапазонда ўлчанган ($\Delta\varphi$) нинг миқдорлари асосида ориентация фактори (β) ҳисобланди. Натижалар асосида намуналарнинг ориентация факторини (β) нисбий узайишга (ε) боғланиш графиги тузилди (6-расм).



6-расм. Ориентация факторини (β) нисбий узайишга (ϵ) боғлиқлиги:
а – ФБ микротолали материал; б – ФБ нанотолали материал.

Графиклар тўғри чизиқли кўринишга эга бўлиб, улар нисбий узайишни ориентация фактори, яъни оптик анизотропияга пропорционал тарзда ўзгариши ифодалайди. Бундай чизиқли боғланиш графиги $\beta = k\epsilon$ каби ифодаланишидан k боғланиш коэффициентининг миқдори топилди,

$$\text{- фиброин микротолали материал} \quad - \beta = k\epsilon = 0,0112\epsilon \quad (8)$$

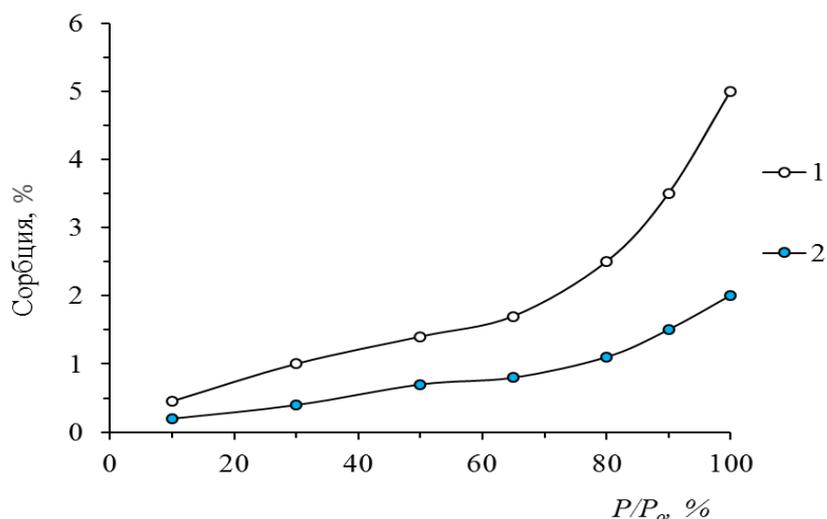
$$\text{- фиброин нанотолали материал} \quad - \beta = k\epsilon = 0,0084\epsilon \quad (9)$$

Ушбу коэффициент ва боғланиш графиги фиброин асосли юпка қатламли материалларнинг деформацион ўзгаришлари оптик анизотропиясига чизиқли боғланганлигини кўрсатади ва бу оптик анизотропия орқали юпка қатламли материалнинг деформацион ҳолатини баҳолаш имкониятини беради.

Ушбу микротолали ориентация фактори $\beta \approx 0,5$ ва $\beta \approx 0,8$ бўлган юпка материалларнинг сув буғларини сорбциялаши бўйича ўтказилган тадқиқот натижалари 7-расмда келтирилган. Бунда ориентация факторини $\beta \approx 0,8$ га деярли 30 % кўтарилиши сув буғларини сорбцияланиши деярли 30 % гача пасайишини кўрсатган. Демак, ориентация факторини деформацион чўзишда ортиши микротолаларни ориентацион зичлашишига олиб келган ва улар орасидаги ғовақлик кескин камайган.

Намуналарни турли таркибли моддалар билан селектив таъсирлашини баҳолаш филтрлаш асосида ўтказилди. Бунининг учун ФБ₁, $\beta \leq 0,5$ ва ФБ₂, $\beta \leq 0,8$ ҳамда Со-АН₁, $\beta \leq 0,5$, ва Со-АН₂, $\beta \leq 0,8$ тавсифли нотўқима материаллардан $m_0=100$ мл чиқинди машина мойи нормал босимда филтрланди ва тўлиқ сизиб ўтиш учун кетган вақти (t) ўлчанди.

Филтрдан ўтган машина мойининг рангини шаффофлашиши кузатилди ҳамда массаси (m_u) ўлчанди. Анизотроп филтрнинг машина мойи таркибидаги заррачаларни ушлаб қолиш қобилияти, яъни филтрлаш кўрсаткичи $m_{yш} = \frac{m_i}{m_0} \cdot 100\%$ ифодага биноан аниқланди.



7-расм. Фиброин микрофибрилларнинг нотўқима материалларнинг сув буғларини сорбциялаши: 1 –микрофибриллар, $\beta \approx 0,5$; 2 –микрофибриллар, $\beta \approx 0,8$.

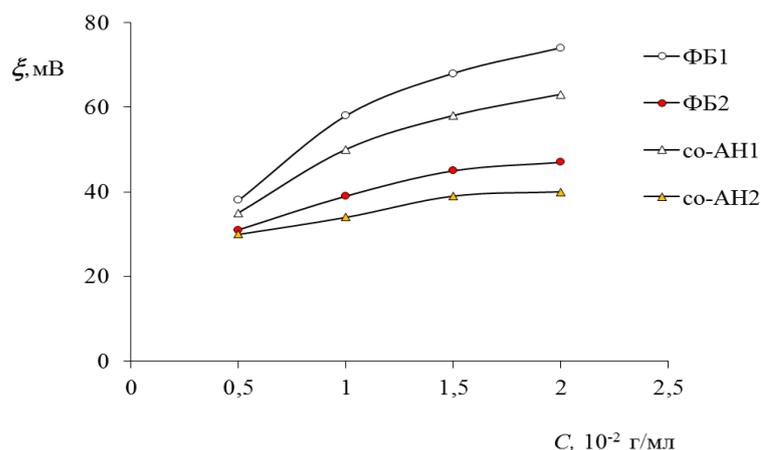
Нотўқима материалларнинг анизотропик кўрсаткичлари, яъни ориентация фактори (β), тоза машина мойини филтрдан тўлиқ оқиб ўтиш вақти (t_0), чиқинди машина мойини филтрдан тўлиқ оқиб ўтиш вақти (t^*) филтлда тутиб қолинган массаси ($m_{\text{вш}}$) миқдорлари 2-жадвалда келтирилган.

2-жадвал. Анизотроп нотўқима материалларнинг филтрлаш кўрсаткичлари

Намуна	β	t_0 , мин	t^* , мин	$m_{\text{вш}}$, %
ФБ ₁	0,5	30	33	2,65
ФБ ₂	0,8	85	90	3,96
Со-АН ₁	0,5	22	25	2,57
Со-АН ₂	0,8	72	78	3,88

Бунда (β) нинг миқдорини ошириши тоза ва чиқинди машина мойларини филтрлаш вақти ошириши ва унинг таркибидаги кичик ўлчамли заррачаларни ушлаб қолиш кўрсаткичин ошишига олиб келишини кўрсатади. Бундай эффектларни кузатилиши, биринчидан, нотўқима материални тўғридан-тўғри ўлчамини ўзгариши, иккинчидан, филтрлаш жараёни ориентация факторига боғлиқ тарзда 30-90 мин давом этиши билан боғлиқдир.

ФБ ва Со-АН асосидаги нотўқима материалларнинг дисперс фаза сифатида дисперс муҳитда электрокинетик дзета (ξ) потенциалини аниқлаш ва унинг асосида намуналарнинг ташқи муҳит элементлари билан таъсирлашиши имкониятлари ўрганилди. Бунда мис купораси (CuSO_4) асосидаги электролитдан кўмир стержень электродларга доимий электр кучланиши 0 – 100 мВ ўтказилди ва нотўқима мембрана қатламдан ионлар ўтиши туфайли вужудга келган электроосмос натижасида капиллярларида суюқликни ҳажмий (V) силжиши вақт (t) давомида назорат қилинди. Дзета потенциал Гельмгольц-Смолуховский $\xi = 4\pi k \eta Q / \epsilon I$ формуласи бўйича ҳисобланди ҳамда ξ -потенциалнинг концентрацияга (C) боғланиш графиги тузилди (8-расм). Графикдан $\xi > 30$ мВ дан катта эканлиги аниқланди.



8-расм. Нотўқима анизотроп материалларнинг электрокинетик ξ -потенциални концентрацияга (C) боғлиқлиги

Графикдан концентрация ошиши билан ξ - потенциалнинг миқдори ҳам ошиб бориши кўриш мумкин. Бунга сабаб анизотроп нотўқима намуналарнинг ва CuSO_4 орасидаги ўзаро таъсирлашиш асосан толаларнинг сирт фаоллиги, айнан, фиброин ва Со-АН нинг функционал гуруҳлари карбоксил ва амин ҳамда метил гуруҳларининг тола сиртида мукамал жойлашганлиги ва электролит ионлари билан ўзаро таъсирлашишлари эвазига амалга ошган ва унинг натижасида анизотроп тола ва ион таъсирлашишлари юқори концентрациялар соҳасида янада барқарорлашгандир.

Шундай қилиб, турли даражадаги анизотроп тавсифли “нотўқима материал - ион” таъсирлашишининг электрокинетик кўрсаткичлар билан тавсифланиши, улар ўртасида ўзига хос тизим шаклланганлигидан далолат беради ҳамда бу тизим сувли муҳитда ва электр майдони таъсирида физик кўрсаткичлари бўйича барқарор эканлиги аниқланди.

ХУЛОСА

«Юпқа қатламли полимер материалларнинг анизотропик хоссалари» мавзусида фалсафа доктори (PhD) диссертацияси бўйича олиб борилган тадқиқотлар натижасида қуйидаги хулосалар тақдим этилди:

1. Гидродинамик тадқиқотлар асосида полиэтиленни молекуляр массаси $M = 280000$, фиброин учун $M = 220000$ ва акрилонитрил сополимери учун $M = 115000$ эканлиги аниқланган. Поляризацияон – оптик усулда намуналарнинг устмолекуляр тузилиши ўрганилган ҳамда полиэтилен плёнкани ламелляр ва фиброин толасини фибрилляр тузилишга хос оптик анизотропик эффектлар намоён қилиши аниқланган.

2. Механик чўзиш натижасида полиэтилен плёнканинг ламелляр устмолекуляр тузилиши деформацион парчаланиб, юқори эластиклик ҳолатга ўтиши, нисбий узайиши ва узилишининг критик параметрларининг оптик анизотропик эффектларга пропорционал боғлиқ эканлиги аниқланган. Оптик анизотропия бўйича ориентация факторини (β) нисбий деформацияга (ε) боғланиш функцияси сегментал ўзгаришлар учун $\beta = k_1 \varepsilon = 0,001\varepsilon$ ва

молекуляр силжишлар учун $\beta = k_2\varepsilon = 0,004\varepsilon$ кўринишда тузилган. Нисбий узайиш $\varepsilon > 430\%$ катта соҳада турли тусли оптик-анизотропик эффектлар оқ тусга ўтиши ва плёнкани узилиши аниқланган.

3. Фиброиннинг турли қалинликдаги толалари асосидаги юпқа қатламли нотўқима материалларнинг деформацион узайиши ва оптик анизотропияси ўртасида чизикли боғланиш мавжудлиги аниқланган. Микротолали нотўқима материал учун ориентация факторининг нисбий деформациясига боғланиш функцияси $\beta = k\varepsilon = 0,0112\varepsilon$ ва нанотолали нотўқима материал учун $\beta = k\varepsilon = 0,0084\varepsilon$ эканлиги кўрсатиб берилган.

4. Фиброин ва акрилонитрил сополимерининг ориентация фактори $\beta = 0,8$ бўлган турли қалинликдаги толалари асосида олинган ориентация фактори $\beta = 0,5$ ва $\beta = 0,8$ бўлган изотроп-анизотроп нотўқима материалларнинг сирт фаоллик хоссалари қиёсий тадқиқот қилинган. Микротолали материалнинг ориентация факторини 0,5 дан 0,8 гача ошганда сорбцион қобилиятини 30% камайиши, чиқинди машина мойи филтрлаш қобилияти 2,6% дан 3,96% гача ошиши аниқланган. Электрокинетик дзета-потенциали миқдори 30 мВ дан катта бўлиши, нотўқима анизотроп материалнинг ионлар билан таъсирлашиши барқарор эканлигини кўрсатган.

5. Плёнкасимон ва юпқа қатламли нотўқима материалларнинг бир томонлама ва симметрик чўзишда деформацион ўзгаришларни оптик анизотропияси бўйича тадқиқот қилиш учун махсус механооптик қурилма йиғилган ва унинг воситасида деформацияланувчи материалда рўй бераётган сегментал, молекуляр силжиш ва узилиш жараёнларини амалга ошишининг принципиал хусусиятлари ва қонуниятлари аниқланган.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ DSc. 02/30.12.2019.К/ФМ/Т.36.01 ПО
ПРИСУЖДЕНИЮ УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ ПРИ ИНСТИТУТИ ХИМИИ
И ФИЗИКИ ПОЛИМЕРОВ**

НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ УЗБЕКИСТАНА

МАТЯКУБОВ БЕКЗОД МАТНАЗАРОВИЧ

**АНИЗОТРОПНЫЕ СВОЙСТВА ТОНКОСЛОЙНЫХ
ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

01.04.06 – Физика полимеров

**АВТОРЕФЕРАТ ДИССЕРТАЦИИ ДОКТОРА ФИЛОСОФИИ (PhD) ПО
ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИХ НАУК**

Ташкент-2021

Тема диссертации доктора философии (PhD) зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан за В2019.3.PhD/FM412.

Диссертация выполнена в Национальном университете Узбекистана.

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

Научный руководитель: **Холмунинов Абдулфатто Ахатович**
доктор физико-математических наук, профессор

Официальные оппоненты: **Абдурахманов Умарбек**
доктор физико-математических наук, профессор

Нургалиев Ильнар Накипович
доктор физико-математических наук

Ведущая организация: **Самаркандский государственный университет**

Защита диссертации состоится «__» _____ 2021 года в ____ часов на заседании Научного совета DSc.02/30.12.2019.K/FM/T.36.01 при Институте химии и физики полимеров по адресу: 100128, г. Ташкент, ул. Абдулла Қадыри, 7^б. Тел: (+99871) 241-85-94; факс: (+99871) 241-26-61, e-mail: polymer@academy.uz).

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Института химии и физики полимеров зарегистрирован ____ номером). (Адрес: 100128, город Ташкент, улица Абдулла Қадыри, 7^б. Тел: (+99871) 241-85-94).

Автореферат диссертации разослан «__» _____ 2021 года.
(протокол рассылки №__ «__» _____ 2021 года).

С.Ш. Рашидова

Председатель научного совета
по присуждению учёных степеней,
д.х.н., профессор, академик

М.М. Усманова

Секретарь научного совета
по присуждению учёных степеней,
к.х.н., старший научный сотрудник

С.С. Негматов

Председатель научного семинара
при научном совете
по присуждению учёных степеней,
д.т.н., профессор, академик

ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора (PhD) философии)

Актуальность и востребованность темы диссертации. В мире особое внимание уделяется получению специальных полимерных пленкообразных, плоских тонкослойных нетканых материалов и углубленному исследованию закономерностей проявления важных функциональных и анизотропных свойств в зависимости от их морфологического состояния и нелинейного деформирования под воздействием внешних сил. В этом изучение взаимосвязи обратимых и необратимых деформационных изменений полимерных плоских тонких материалов с ламеллярной и фибриллярной надмолекулярной структурой с анизотропными эффектами, определение на их основе предела прочности и функционально-активных свойств, а также практического применения считается актуальной задачей физики полимеров.

На сегодняшний день в мире уделяется большое внимание сравнительному изучению механооптических свойств тонкослойных полимерных микроволоконных и полученных методом электроспиннинга нановолоконных материалов, а также получению на их основе биоактивных “изотропно-анизотропных” нетканых материалов. В связи с этим важно проведение целевых и научных исследований в таких областях, как структурные и фазовые превращения, деформация, анизотропия, фильтрация и определение особых физико-химических свойств тонкослойных полимерных материалов.

В республике особое внимание уделяется научно-практическим исследованиям получения и практического применения функционально активных тонкослойных пористых пленкообразных, волоконных нетканых материалов на основе местных полимеров. В частности, достигнуты важные результаты по разработке медико-биологических покрытий, комплексов, композитов, носителей биоэлементов и лекарственных средств, селективных фильтров очистки воздуха, газообразных и жидкостных веществ на основе ламеллярных и фибриллярных пористых тонкослойных полимерных материалов. В указе “Стратегии действия” дальнейшего развития Республики Узбекистан определены важные задачи по развитию науки и образования, внедрению результатов фундаментальных исследований на практике. Для реализации данных задач имеют важные значения научно-практические исследования, направленные на определение оптимальных параметров получения тонкослойных материалов с уникальными свойствами на основе полимеров с функционально активными группами, изучение структурных и фазовых превращений под действием внешних деформационных сил, выявление структуры и свойств, а также возможности применения.

Данное диссертационное исследование в определенной степени служит выполнению задач, поставленных Указом Президента Республики Узбекистан № УП–4947 от 7 февраля 2017 года «О стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан» и Постановлениями Президента Республики Узбекистан №ПП-3479 от 17 января 2018 года «О мерах

устойчивого обеспечения высоко востребованной продукцией и сырьевыми ресурсами отраслей экономики страны”, №ПП-3983 от 25 октября 2018 года «О мерах по усиленному развитию химической промышленности в Республике Узбекистан», №ПП-5032 от 19 марта 2021 года «О мерах по повышению качества образования и совершенствованию научных исследований в области физики» а также другими нормативно-правовыми документами, принятыми в данной сфере.

Соответствие исследования приоритетными направлениями развития науки и технологии в республике. Данное исследование выполнено в соответствии с приоритетными направлениями развития науки и технологий в республике: VII. “Химические технологии и нанотехнологии”.

Степень изученности проблемы. На сегодняшний день во многих странах мира ведутся широкомасштабные исследования по получению плоских тонкослойных полимерных материалов различной надмолекулярной структуры и определению их физико-химических свойств и возможности практического применения. Большинство опубликованных работ, посвящены в основном выявлению физических свойств тонкослойных материалов путем измерения механической прочности с использованием разрывной машины.

А. Келлер, С.Я. Френкель и представители ряд научных школ внесли большой вклад в развитие научного направления по изучению ориентационного упорядочения распавшихся ламеллярных слоев полиэтилена при деформационном растяжении и рентгеноструктурного анализа, а также механизмов ориентационной кристаллизации фиброина натурального шелка. Также следует отметить, работы ученых W. Zhou, J. He и других, посвященные формированию волоконных пористых тонкослойных материалов на основе фиброина, проведения оценки по оптической анизотропии высокой степени ориентационного упорядочения молекул полиэтиленоксида и полистирола.

В нашей республике внесли определенный научный вклад для развития данного направления С.Ш. Рашидова, С.С. Негматов, Н.Р. Ашуров, А.А. Холмуминов и другие. Синтезированы новые материалы со специальными физико-химическими свойствами на основе природных биологически активных полимеров.

До настоящих исследований в литературе встречается мало работ об исследованиях обратимых и необратимых деформационных изменений в тонкослойных материалах, переходах “изотропно-анизотропное” состояний, а также практически отсутствует информация о физической сущности контролирования процессов по оптической анизотропии. Хотя в настоящее время считается перспективным исследование физических и эксплуатационных свойств тонкослойных полимерных материалов, создание специальных устройств и моделей, позволяющих получить принципиальные научно-исследовательские результаты о деформации пленкообразных, тонкослойных материалов, ламинатов, сенсоров, функционально биологически активных покрытий открытых ран и т.п.

Связь диссертационного исследования с планами научно-исследовательских работ высшего образовательного учреждения, где выполнена диссертация. Диссертационное исследование выполнено в рамках научно - прикладного проекта Ф-А-2018-033 “Усовершенствование метода электроспиннинга получения нановолокнистых нанопористых материалов из натурального шелка и отходов хлопка” (2018-2020 гг.) выполненного в Национальном университете Узбекистана имени Мирзо Улугбека.

Цель исследования является в определении взаимосвязи деформационного изменения и функциональной активности с оптической анизотропией тонкослойных пористых материалов ламеллярного и фибриллярного строения на основе полиэтилена, фиброина и сополимера акрилонитрила.

Задачи исследования:

определение молекулярного и надмолекулярного строения, а также анизотропных свойств полиэтилена, фиброина и сополимера акрилонитрила; исследование взаимосвязи деформационных изменений с оптической анизотропией при одностороннем и симметричном растяжении тонкослойного материала ламеллярного строения на основе полиэтилена и определение их физических принципов

формирование тонкослойных нетканых пористых изотропно-анизотропных материалов на основе фиброина и сополимера акрилонитрила, а также определение особенностей взаимосвязи деформационного изменения с оптической анизотропией при симметричном растяжении;

определение особенностей проявления уникальных и специальных свойств тонкослойных нетканых изотропно-анизотропных материалов в зависимости от анизотропного состояния в различных средах

Объект исследования. Полиэтилен, фиброин и сополимер акрилонитрила.

Предметом исследования является определение молекулярных характеристик полиэтилена, фиброина и сополимера акрилонитрила, деформационных изменений и механического разрушения тонкослойных материалов ламеллярного и фибриллярного строения, взаимосвязи данных процессов с оптической анизотропией и научных основ проявления функционально-активных свойств

Методы исследования. Используются гидродинамические, реологические, поляризационно-оптические методы, электроспиннинг, растровая электронная микроскопия, сорбционный анализ, дзета- потенциал.

Научная новизна диссертационного исследования заключается в следующих:

впервые определены оптимальные параметры формирования полимерных тонкослойных нетканых «изотропно-анизотропных» материалов фибриллярной надмолекулярной структуры;

впервые показана линейная зависимость деформационных изменений тонкослойных материалов фибриллярного строения от оптической анизотропии, а также определены функции и коэффициенты зависимости фактора ориентации от относительного удлинения.

впервые показаны физические принципы контролирования по оптической анизотропии деформационных изменений пленочных тонкослойных полимерных материалов ламелярного строения при симметрическом и одностороннем растяжениях.

получены тонкослойные материалы на основе фиброина шелка, сополимера акрилонитрила и определены принципы выявления их поверхностной активности с помощью методов сорбции, нанофильтрации, дзета – потенциала, исследованы роли анизотропических эффектов.

Практические результаты исследования заключаются в следующем:

Поляризационно-оптический контроль одностороннего и симметричного растяжения тонкослойного материала на основе полиэтилена ламеллярной структуры показал нелинейное деформационное изменения на основе которого построена функция зависимости фактора ориентации от относительной деформации материала;

На основе фиброина и сополимера акрилонитрила получены нетканые изотропно-анизотропные и тонкослойные материалы с фибриллярной структурой, в результате сравнительных исследований построена функция линейной зависимости фактора ориентации от относительной деформации, также определены структурные и физико-химические характеристики.

Достоверность результатов исследований. Измерения при проведении научных исследований выполнены в рамках требуемых достоверностей и статистически отработаны, экспериментальные результаты сопоставлены с известными теоретическими данными и результатами других ведущих исследователей. Полученные результаты представлены и обсуждены на республиканских и международных конференциях.

Научная и практическая значимость результатов исследования. Научная значимость результатов заключается в том, что на основе проведенных исследований определены оптимальные параметры получения изотропно-анизотропных нетканых материалов фиброина и сополимера акрилонитрила, также их важные структурные характеристики и эксплуатационные, анизотропные, поверхностно-активные, физико-химические свойства. Предложены функции, характеризующие зависимости механических свойств с эффектами оптической анизотропии тонкослойных нано- и микроволоконных пористых материалов, также определены значения коэффициентов зависимости.

Практическая значимость результатов исследований заключается в разработке механооптической установки, применяемой для контроля деформационных изменений поляризационно-оптическим методом, определения устойчивости к внешним механическим воздействиям, предела прочности, термических характеристик материалов. Результаты исследований

использованы в получении нетканых пористых материалов, имеющих биологически активные свойства, полученных методом электроспиннинга, усовершенствованного с эксцентрично-вращающим экраном. Показана возможность использования данных тонкослойных нетканых материалов в качестве биоактивных покрытий для заживления открытых ран.

Внедрение результатов исследования. На основании полученных научных результатов по анизотропным свойствам тонкослойных полимерных материалов:

тонкослоистый материал сформированный на основе сополимера акрилонитрила в виде биосовместимой основы и фиброина поверхностного биоактивного слоя использован в качестве биоактивного покрытия для заживления открытых ран в Республиканском специализированном научно-практическом центре дерматологии и венерологии при Министерстве здравоохранения Республики Узбекистан (справка службы санитарно-эпидемиологического беспокойства и общественного здравоохранения при Министерстве здравоохранения Республики Узбекистан № 04-8/388 от 16 ноября 2020 г.). В результате показана возможность практического применения тонкослойных нетканых нановолокнистых материалов в качестве эффективного средства при лечении открытых ран.

принципы формирования нановолокнистых слоистых нетканых материалов сополимера акрилонитрила и фиброина шелка, также результаты анализа структурных изменений тонкослойных полимерных материалов по оптической анизотропии и установка поляризационно-оптического контроля деформационных процессов использованы при выполнении практического проекта А-4-13 на тему “Разработка технологии получения нановолокнистых нетканых материалов на основе фиброина, хитозана и сополимера акрилонитрила методом электроспиннинга” (2015-2017 гг.) в Национальном университете Узбекистана имени Мирзо Улугбека (справка Министерство высшего и среднего специального образования Республики Узбекистан №89-03-3244 от 11 сентября 2020 года). В результате появилась возможность проведения исследования и контроля по оптической анизотропии процессы обратимых и необратимых деформационных изменений, также разрушения нановолокнистых материалов под механических и термических воздействий.

Апробация результатов исследования. Результаты исследования обсуждены на 3 международных и 5 республиканских научно-практических конференциях.

Опубликованность результатов исследования. По теме диссертации опубликованы 17 научных работ, из них 5 в республиканских и 4 в зарубежных журналах, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан для публикации основных научных результатов диссертации доктора философии (PhD).

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, общих выводов и списка использованной литературы и приложений. Объем диссертации содержит 100 печатных страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность и востребованность темы диссертации, цели и задачи, объекты и предметы научных исследований, совместимость темы диссертации с приоритетными направлениями развития науки и технологии Узбекистана, изложены научная новизна и практическая значимость, приведены выводы по возможностям апробации результатов, сведения по опубликованным работам и строению диссертационной работы.

В первой главе диссертации **“Анизотропические свойства тонких полимерных материалов”** дается обзор работ по теме диссертации. В нем изложены характеристики тонкослоистых функциональных полимеров имеющих различные надмолекулярные (ламеллярные, фибриллярные) строения, принципы выявления оптических анизотропных эффектов. Проанализированы возможности использования методов дзета-потенциала и сорбции при оценке функциональной активности нановолокнистых тонких материалов. На основе приведенных анализов обоснованы цели и задачи научного исследования работы диссертации.

Во второй главе “Объекты и методы исследования” диссертации даны характеристики волокон выбранных объектов - пленки полиэтилена (ПЭ), фиброина шелка (ФБ) и сополимера акрилонитрила (Со-АН), сведения по получению на их основе плоских тонко слоистых образцов, про их молекулярные массы, про гидродинамические и реологические методы определения структурных и фазовых изменений, формирования волокнистых нетканых тонкослоистых материалов, также про поляризационно-оптические, микроскопические методы исследования связи деформационных и анизотропических свойств, про сорбционные и дзета-потенциальные методы определения функциональных и поверхностных активностей.

В третьей главе “Деформационные и анизотропные изменения тонкослойных полимерных материалов” диссертации показаны деформационные изменения реализованные при одностороннем и симметричном растяжении пленки плоского ламеллярно-слоистого полиэтилена и принципы практического применения “механооптического” устройства, специально собранного для исследования разложения и на их основе принципы контроля и исследования оптического анизотропического эффекта деформационного изменения.

Для проведения исследования выбраны пленки ламеллярного полиэтилена плоская толщина которая составляет ~50 мкм. Выделена плоская оболочка с толщиной 5 мкм, которая имеет ширину 1 см и длину 5 см, отрезав шелк шелкопряда по поперечному сечению. Этот образец является нетканевой, в составе которых имеются волокна фибриллярного фиброина (толщиной 10 мкм) и оболочки глобулярного серицина. Для контроля деформационных свойств по оптической анизотропии, ленточный образец механически растягивали односторонне и симметрично. Собраны “механооптические” устройства, позволяющие поляризационным микроскопическим методом исследовать процесс растяжения.

Устройство механооптического исследования собрано по принципу “разрывной машины”. На механической части устройства образец лента от кончика протягивается вертикально вниз равномерно и деформационно растягивается до разрыва. Показатели прочности разрыва (σ_r) и относительного удлинения (ε_r) определяются по ГОСТ 14236-81:

$$\sigma_r = F_r / A_0 \quad (1)$$

$$\varepsilon_r = \frac{\Delta l_{or}}{l_0} \cdot 100\% \quad (2)$$

где F_r – напряжения растяжения при разрыве, Н; A_0 – первоначальное поперечное сечение образца, мм²; Δl_{or} – изменение длины при разрыве образца, мм; l_0 – первоначальная длина образца, мм. В системе СИ единица прочности измеряется в МПа. Реализующийся процесс объясняется по схеме на рис.1.

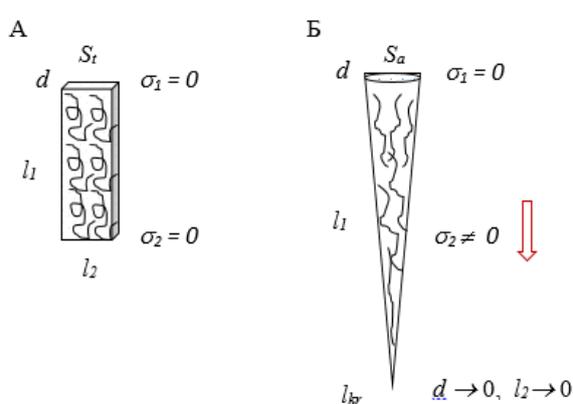


Рис.-1. Принципиальная схема перехода и разрыва по деформационному растяжению параллелепипеднообразной ленты (А) в конусообразную

Сначала в состоянии А на кончиках ленты механическое напряжение ($\sigma_1 = \sigma_2 = 0$) отсутствует, и ее длина (l_1), ширина (l_2) и толщина (d), в общем характеристическая $S_t = l_2 \times d$ площадь, объем V_t и масса m_t не изменяется.

Потом, в состоянии Б барабан-мотовило вращается с одинаковой частотой ($V_{об}$) и выполняется условие $\sigma_1 < \sigma_2 \neq 0$, по длине ленты в динамометре в сторону барабан-мотовило деформационно растягивается и параллеллопипедообразная (А) форма преобразуется

конусообразную (Б) форму, непрерывно удлиняя, утончается.

При достижении определенного критического значения $l_1 = l_{kr}$ выполняется условие $l_2 \rightarrow 0$ и $d \rightarrow 0$ и лента разрывается. Из-за деформационного изменения характеристической площади S_t четырехугольника преобразуется в круглую площадь. При деформационном растяжении масса ленты m_t не изменяется, но при деформационно-ориентационном упорядочении составных элементов из-за уплотнения наблюдается уменьшение объема образца V_t .

На оптической части образец лента (1) прикрепляется между поляризатором (2) и анализатором (3) перпендикулярно к монохроматическому свету (рис-2). Длина волны света равная $\lambda = 0,56 \cdot 10^{-4}$ см, выделяется с помощью ЖЗ-6 фильтра и преобразуя с помощью линз в параллельный световой пучок, проходит в одной линии через поляриод, образец, объектив, анализатор, окуляр.



Рис.2. Принципиальная схема (а) и микрофотография (б) вырождения оптической анизотропии при деформационном растяжении ленты плёнки

Луч поляризуется в поляроиде, т.е. разделяется на обыкновенные и необыкновенные лучи. Обыкновенный луч, из-за деформационного растяжения образца, т.е. из-за изменения формы и порядка расположения составных элементов, вращается на угол φ_1 и это наблюдается визуально как оптический анизотропический эффект через окуляр. С помощью специального лимба расположенного на анализаторе измеряются отличие между обыкновенным и необыкновенным лучами, т.е., отличие ($\Delta\varphi$) между оптическим “черным” фоном и “светлой” областью центра оптической анизотропии (φ_1), также толщина ленты (d) с помощью микрошкал окуляра. На основе этого, показатель первоначального двулучепреломления образца-ленты:

$$\Delta n_0 = \frac{\lambda \Delta \varphi_0}{180 d_0} \quad (3)$$

и найдено количество во время деформационного изменения

$$\Delta n_i = \frac{\lambda \Delta \varphi_i}{180 d_i} \quad (4)$$

по их отношению найден фактор ориентации (β), т.е. анизотропические характеристики

$$\beta = \left[\frac{\Delta n_i - \Delta n_0}{\Delta n_i} \right]^{0,5} \quad (5)$$

Эксперименты проведены в образцах, полученных в трех (ω) режимах и в тонко пленочных лентах разной толщины при их продольном и поперечном деформационном растяжении в “механооптическом” устройстве, при частоте вращения $\omega = 1$ см/с его барабана-мотовила. Провели исследования в образцах вырезанных по длине (а) и по ширине (б) из пленки с толщиной $d = 50$ мкм, полученные при режиме формирования $\omega_{\text{бм}} = 2$ об/мин. Наблюдены одинаковые выявления оптических анизотропических эффектов в двух этих направлениях. Определены значения механической $A_m = \frac{\sigma_{\text{б}}}{\sigma_{\text{к}}}$ и оптической $A_o = \frac{\beta_{\text{б}}}{\beta_{\text{к}}}$ анизотропии. Полученные результаты приведены в таблице-1.

Сравнительные анализы показали, что образцы пленок сформированных на скоростях $\omega_{\text{бм}} = 2$ об/мин при продольном и поперечном растяжении величины “прочности на разрыв” и показатели относительного удлинения близки друг-другу и их оптические анизотропии около 1,10 - 1,12. Это показывает что макромолекулы в плёнках полученных при режиме $\omega_{\text{бм}} = 2$

об/мин формируются в изотропном состоянии. Наблюдены переходы из параллелепипедной формы в конусообразную (призмобразную), при деформационном растяжении образца, выявления анизотропных эффектов из-за деформационного-ориентационного упорядочения макромолекул.

Таблица-1. Показатели при деформационном растяжении тонких лент

ω об/мин	d , мкм	Показатели ленты при разрыве						$A_m = \frac{\sigma_b}{\sigma_k}$	$A_o = \frac{\beta_b}{\beta_k}$
		В продольном растяжении			В поперечном растяжении				
		σ_b , МПа	ε_b , %	β_b	σ_k , МПа	ε_k , %	β_k		
2,0	50	68	539	0,91	64	530	0,82	1,10	1,12
3,5	41	76	390	0,94	42	294	0,55	1,81	1,72
4,5	36	81	335	0,96	35	214	0,43	2,31	2,24

Одинаковые показатели анизотропических эффектов при растяжении образца по длине и по ширине показывают, что эта пленка изотропная. Результаты продольных и поперечных растяжений следующих образцов полученных в режимах $\omega_{бм} = 3,5$ об/мин и $\omega_{бм} = 4,5$ об/мин показали что показатели по поперечному растяжению на много меньше чем показатели полученные по продольному растяжению. Это состояние показывает анизотропность этих пленок, т.е. при их формировании макромолекулы в состоянии деформационно-ориентационном упорядочении создают надмолекулярную структуру. Значит, и при получении и при деформационном растяжении пленка бывает в анизотропическом состоянии.

При одностороннем деформационном растяжении тонких полимерных материалов, т.е. пленок и лент, происходящие процессы условно делятся на два типа: -изменение формы материалов, -изменение физических состояний составных элементов материала. Во-первых, это преобразование материала параллелепипедообразной формы в конусообразную форму, и такое изменение формы не является анизотропическим изменением. Во-вторых, это переход из изотропного состояния в анизотропное состояние деформационно-ориентационно упорядоченных макромолекул, ламеллы надмолекулярного строения, фибриллы, нановолокны. При исследовании важно, что поляризационный луч перпендикулярно проходил от середины образца-ленты и деформационные растяжения симметрично от двух концов. Для реализации этого усовершенствовано “механо-оптическое” устройство. Сильные деформационные изменения происходящие при симметричном растяжении пленки не выходят из области оптического наблюдения. Формированная на этом усовершенствованном “механооптическом” устройстве изотропная полиэтиленовая лента с толщиной $d = 50$ мкм при растяжении симметрично при скоростях $\omega_0 = 1$ см/с определено что в графиках зависимостей относительного удлинения (ε), фактора ориентации (β) и напряжения

растяжения (σ_0) определены три участка характеристических деформационных изменений (рис. 3).

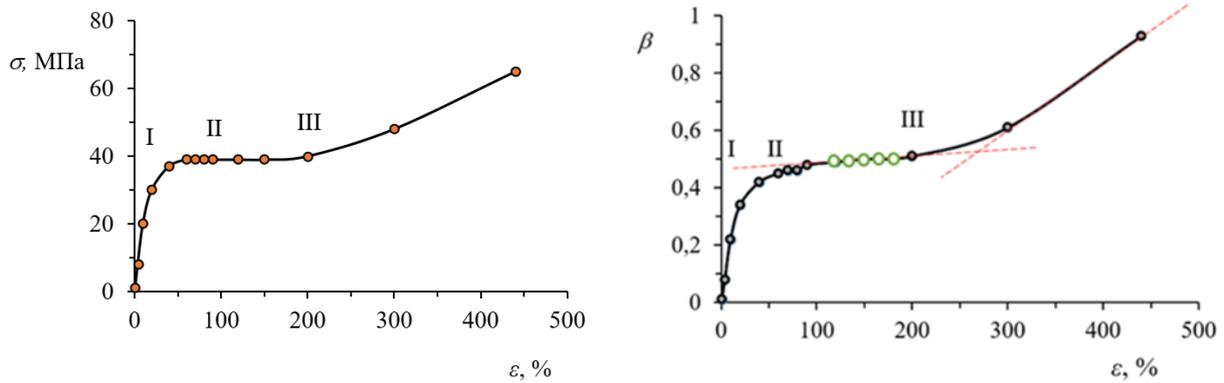


Рис.3. Зависимости напряжения растяжения (σ) и фактора ориентации (β) от относительной деформации (ε) для полиэтиленовой пленки

Здесь эффекты происходящие на I – и III – участке объясняются реализацией объемного деформационного растяжения ленты. II – участок – это молекулярно сегментальное изменение ленты, т.е., переход деформационно-ориентационного упорядочения в анизотропное состояние, из-за относительно малого расхода напряжения растяжения.

Микрофотографии описывающие эти непосредственно наблюдаемые оптические анизотропические эффекты приведены на рисунке-6. В исследованиях наблюдается разложение на слои пленки перпендикулярно направлению деформационного растяжения и удлинения при симметрическом утончении на месте разложения.



А) $\beta = 0,3, \varepsilon_0 = 20 \%$

Б) $\beta = 0,5, \varepsilon_0 = 90 \%$

С) $\beta \geq 0,9, \varepsilon \geq 440 \%$

Рис.4. Изменение оптической анизотропии при симметрическом растяжении полиэтиленовой ленты

Наблюдается, что расслоенное утонченное место ленты будет относительно более прозрачно, оптическая анизотропия будет ярче. Определено исчезновение Ньютоновского дифракционного изображения при приближении порога разрыва ленты, переход в яркий белый свет, и $\beta \geq 0,95$, при моменте разрыва.

На III участке графика происходит течение, т.е. смещение тонкослойного материала, где оптическая интерференционная картина постепенно сужается и число полос уменьшается, образуется белая полоса и далее разрушается пленка. Это объясняется следующим образом: -в интервале $\varepsilon = 100 - 200 \%$

наблюдается медленный рост $\beta = 0,4 - 0,5$, обусловленный скольжением макромолекулярных слоев, в интервале $\varepsilon = 300 - 400$ % повышается медленный рост $\beta = 0,5 - 0,9$, где происходит скожение макромолекул относительно друг друга. На основе этого была построена функция зависимости как для первого случая, так и для второго случая:

$$\beta = k_1 \varepsilon = 0,001 \varepsilon \quad (6)$$

$$\beta = k_2 \varepsilon = 0,004 \varepsilon \quad (7)$$

Данные коэффициенты и функции зависимости деформационного изменения тонкослойных материалов имеют важное значение при определении процессов слоистого и макромолекулярного скольжения, а также определения границы механического разрушения пленочных образцов.

Таким образом, определены сильные деформационные изменения составных элементов лент в зависимости от напряжения растяжения при симметричном деформационном растяжении тонкопленочных лент, реализации расслоения и разложения и синхронной зависимости от оптической анизотропии реализации этих процессов. Это явление показывает возможность непосредственного контроля и научных исследований происходящих деформационных изменений в тонких материалах по оптическим анизотропическим эффектам.

В четвертой главе **“Анизотропные эффекты тонкослойных нетканых материалов”** диссертации обсуждено получение нетканых тонкослойных материалов на основе функционально активных биополимеров- фиброина щелка и сополимера акрилонитрила, управления “изотроп-анизотропных свойств” при непосредственном формировании нетканых структур, результаты при изучении влияния анизотропических эффектов при использовании и выявлении функционально активных свойств.

Наличие функциональных ионогенных групп в данных полимерах безусловно проявляет активность в нетканых материалах. Однако проявление активности во многом зависит от молекулярной массы и изотропно-анизотропного состояния волокон в нетканом материале. С учетом этого проведены вискозиметрические и реологические исследования в целях определения молекулярной массы, полиэлектролитных свойств и природы текучести раствора.

Вискозиметрические исследования провели на растворах из 51,5 % NaCNS-H₂O Со-АН и 2,5 М ДМФА ФБ и по формуле Хаггинса $\frac{\eta_{\text{сол}}}{C} = [\eta] + k[\eta]^2 C$ строили график зависимости $\frac{\eta_{\text{сол}}}{C}$ от C , из условия $C \rightarrow 0$ найдено что количества $[\eta]$ для ФБ и Со-АН соответственно равны 95 мл/г и 200 мл/г. Вычислено количество M_η по уравнению Марка-Кунна-Хаувинка:

$$\text{для ФБ} \quad M_\eta = ([\eta/1,23 \cdot 10^{-3}])^{1/0,91} = 220000$$

$$\text{для Со-АН} \quad M_\eta = ([\eta/2,3 \cdot 10^{-4}])^{1/0,78} = 115000$$

Проведены при разных температурах (25, 40, 55 °С) реологические исследования волокноподобных растворов этих полимеров ($C = 15$ г/дл) в продолжном и перемешанном течении, определены ньютоновские течения подобные этим полимерным системам. По уравнению Френкеля-Эйринга $\ln \eta = \ln A + E_a/RT$ построены графики зависимостей $\ln \eta$ от $1/T$ и вычислены величины энергии активации (E_a) вязко текучего течения из угла наклона

для ФБ	$E_a = 24$ кДж/моль
для Со-АН	$E_a = 20$ кДж/моль

Количеств E_a свидетельствуют о том, что взаимодействие макромолекул в течении происходит в диапазонах энергии взаимодействия водородных связей, т.е. в течении не наблюдается химический синтез полимеров и деструкционные процессы.

Обычно основу нетканых материалов толщиной менее 100 мкм составляют микроволокна фибриллярного строения. Оптическая анизотропия, т.е. фактор ориентации микроволокон составляет $\beta \geq 0,8$, но они располагаются неупорядоченно в нетканом материале и в результате нетканый материал характеризуется фактором ориентации $\beta \leq 0,5$, следовательно материал характеризуется изотропно-анизотропным состоянием волокон. Такие физические состояния нетканного материала могут быть исследованы и их изменение про контролировано по оптической анизотропии.

Последнее время формируются нановолоконные нетканые материалы, которые отличаются от микроволокон по размерам и проявлением свойств, характерным для наноразмерных объектов. Такие уникальные свойства и различия были сравнительно анализированы для микроволокон и нановолокон фиброина шелка. Исходные образцы характеризовались фактором ориентации $\beta \approx 0,5 \div 0,6$, который был получен посредством эксцентрично-вращающего экрана, использованного на установке электроспиннинга.

Для определения физической сущности зависимости деформационных изменений нановолокнистых тонко слоистых материалов на основе фиброина от оптической анизотропии проведено исследование сравнения их с тонко слоистыми материалами полученными на основе микроволокон. Для этого выбраны микроволокнистые (МВ) и нановолоконные (НВ) тонкослоистые (толщиной 50 мкм) нетканые материалы фиброина и их низ готовили образцы с длиной 4 см и шириной 1 см. Исследования реализованы чекоя оптической анизотропии деформационных изменений при симметричном растяжении образца со скоростью 1 см/мин на “механо оптическом” устройстве. Деформационное изменение образцов, т.е. относительные удлинения продолжалось до их механического разрыва. Процесс проведен с помощью поляризационно-оптической системы по двулучепреломлению по принципу измерения отличия фаз ($\Delta\varphi$) через каждую 5 см удлинения.

Описывающие оптически анизотропическое изменение образца микрофотоизображении приведены на рис. 5.

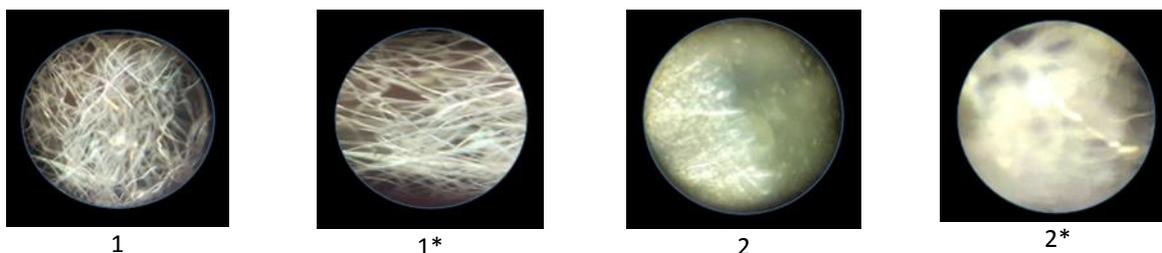


Рис.5. Анизотропические эффекты микро- и нановолокнистых тонких материалов фиброина: 1 – МТМ $\varepsilon = 0\%$; 1* - МТМ $\varepsilon = 100\%$; 2 – НТМ $\varepsilon = 0\%$; 2* - НТМ $\varepsilon = 100\%$;

После повышения относительного удлинения $\varepsilon > 100\%$ в микроволоконистых и нановолоконистых тонких материалах наблюдается эффект разрыва при растяжении. Вычислены факторы ориентации (β) на основе количеств ($\Delta\phi$) измеренных на $0 > \varepsilon > 100\%$ диапазоне. На основе полученных результатов построен график зависимости фактора ориентации образца (β) от относительного удлинения (рис.6). Графики имеют линейную зависимость и это определяет пропорциональное изменение относительного удлинения от оптического ориентационного фактора, т.е., от оптической анизотропии.

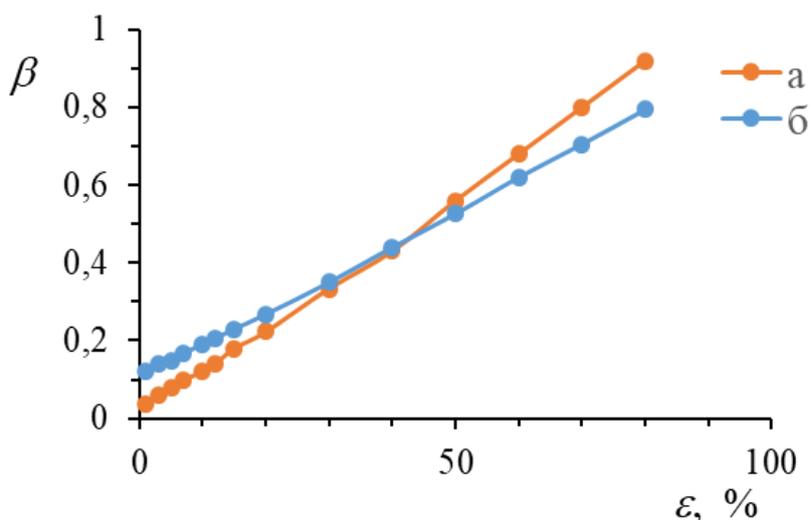


Рис.-6. График зависимости ориентационного фактора (β) от относительного удлинения (ε): микроволоконистый материал ФБ; б – нановолоконистый материал ФБ.

Графики такой линейной зависимости выражаются через $\beta = k\varepsilon$ и можно найти величину коэффициента зависимости:

$$\text{- материал с микроволокон ФБ} \quad - \quad \beta = k\varepsilon = 0,0112\varepsilon \quad (7)$$

$$\text{- материал с нановолокон ФБ} \quad - \quad \beta = k\varepsilon = 0,0084\varepsilon \quad (8)$$

Этот коэффициент и график зависимости показали линейную зависимость деформационных изменений тонко слоистых материалов на основе фиброина от оптической анизотропии и дал возможность оценить деформационное состояние тонко слоистых материалов по оптической анизотропии.

С методом сорбции исследованы функциональные образцы нетканного материала характеризующиеся фактором ориентации $\beta \approx 0,5$ ва $\beta \approx 0,8$ и результаты исследования приведены на рис.7.

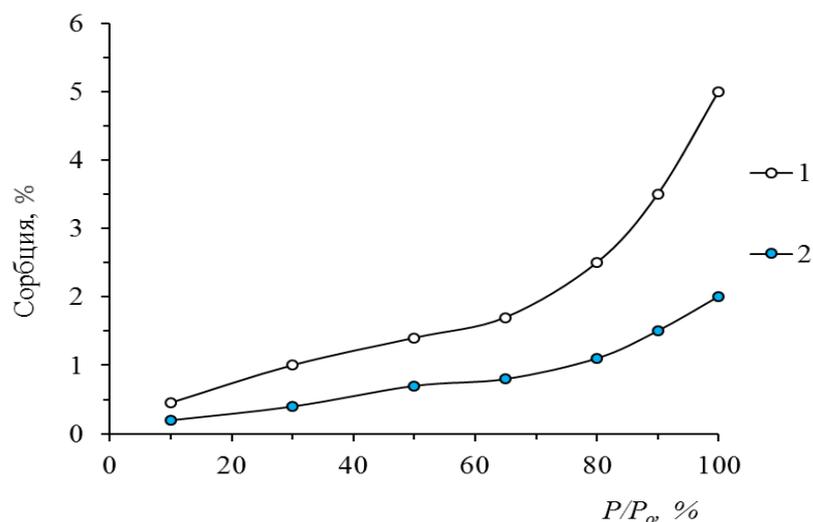


Рис.7. Сорбция паров воды фиброинных микроволоконных нетканых материалов: 1 – микроволоконных, $\beta \approx 0,5$; 2 – микроволоконных, $\beta \approx 0,8$.

При этом повышение фактора ориентации на $\beta \approx 0,8$, т.е. 30 % уменьшало сорбцию паров воды около 30 %.. Отсюда можно сделать вывод о том, что деформационное растяжение способствовало увеличению плотности микроволокон в нетканом материале и уменьшалась пористость материала.

Селективное взаимодействие нетканых материалов исследовали с различными веществами проводили путем фильтрации. Для этого использовали образцы ФБ₁, $\beta \leq 0,5$ и ФБ₂, $\beta \leq 0,8$, также Со-АН₁, $\beta \leq 0,5$, и Со-АН₂, $\beta \leq 0,8$. Через них пропустили $m_0 = 100$ мл отработанного масла при нормальном давлении и фиксировали время (t) полного протекания масла через образцы. Наблюдалось осветление масла после фильтрации и измеряли массу (m_i). Рассчитали способность фильтрации образцов нетканого материала по формуле $m_{\text{уш}} = \frac{m_i}{m_0} \cdot 100\%$. В таблице 2 приведены значения фактора ориентации (β) образцов, время полного протекания чистого масла (t_0), отработанного масла (t^*) и удержанная масса ($m_{\text{уш}}$) на фильте.

Таблица 2. Показатели фильтрации анизотропных нетканых материалов

Образец	β	t_0 , мин	t^* , мин	$m_{\text{уш}}$, %
ФБ ₁	0,5	30	33	2,65
ФБ ₂	0,8	85	90	3,96
Со-АН ₁	0,5	22	25	2,57
Со-АН ₂	0,8	72	78	3,88

При этом повышение фактора ориентации способствовало увеличению времени фильтрации и повышению способности удержания сравнительно мелких частиц из состава отработанного масла. Такие эффекты связаны, во-первых с изменением пористости нетканого материала, во-вторых с увеличением времени фильтрации 30 – 90 мин из-за повышения фактора ориентации материала.

Исследовано взаимодействие и прочность контакта нетканного материала в виде дисперсной фазы в дисперсной среде методом электрокинетического дзета-(ξ)-потенциала.

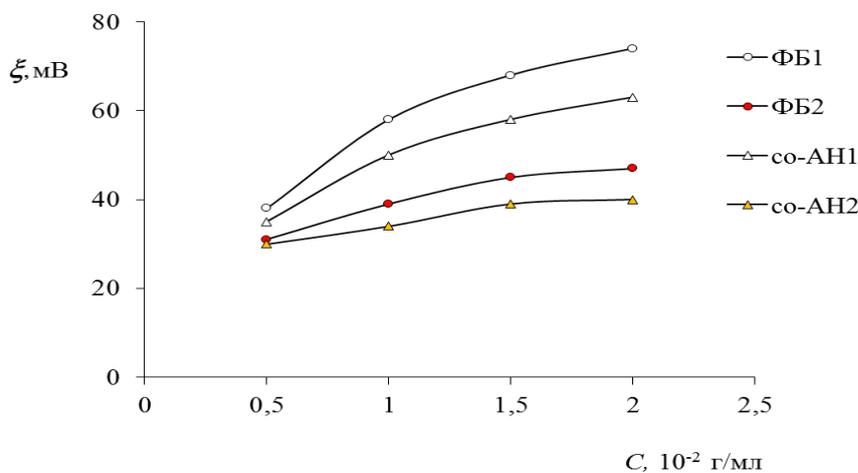


Рис.8. Зависимость электрокинетического ξ - потенциала от концентрации электролита для анизотропных нетканых материалов.

При этом нетканые материалы установлены в качестве мембраны и через них проходил электролит медного купороса (CuSO_4) под действием постоянного напряжения в интервале 0 – 100 мВ. Измеряли время (t) прохождения объема (V) электролита с определенной вязкостью (η) через мембраны. Значение ξ - потенциала рассчитали по формуле Гельмгольца-Смолуховского $\xi = 4\pi k \eta Q / \epsilon I$ построили график зависимости ξ - потенциала от концентрации электролита (рис.8).

Из графика видно, что величина электрокинетического потенциала увеличивается с ростом концентрации. Это связано с повышением взаимодействия между неткаными материалами и CuSO_4 в результате поверхностной активности микроволокон фиброина и сополимера акрилонитрила, а также активного участия аминной, карбоксильной и метильной функциональных групп полимеров. Повышенное значение $\xi > 30$ мВ указывает стабильность взаимодействия волокно-ион, что ещё больше в области больших концентраций.

Таким образом, охарактеризованные такими электрокинетическими показателями системы “нетканый материал-ион” свидетельствует о формировании своеобразной структуры между ионами электролита CuSO_4 и неткаными материалами, выявлено, что устойчивость этих структур по физическим показателям в среде электролита и электрическом поле.

ВЫВОДЫ

На основе проведенных исследований по диссертационной работе на соискание ученой степени доктора философии (PhD) на тему: «Анизотропные свойства тонкослойных полимерных материалов»:

1. Определены молекулярные массы полиэтилена $M = 280000$, фиброина $M = 220000$ и сополимера акрилонитрила $M = 115000$ методом гидродинамики. Изучены молекулярные и надмолекулярные структуры пленки полиэтилена ламеллярного строения, волокон фиброина фибриллярного строения методом поляризационной оптики и определены оптические анизотропные эффекты данных образцов.

2. Определена пропорциональность оптической анизотропии на деформационное разрушение надмолекулярной ламеллярной структуры полиэтилена в результате механического растяжения, переход в высокоэластичное состояние, относительное удлинение и критические значения разрыва. По оптической анизотропии построена функция зависимости фактора ориентации (β) от относительной деформации (ε), которая на уровне сегментальных изменений имеет вид $\beta = k_1\varepsilon = 0,001\varepsilon$ и при скольжении макромолекул $\beta = k_2\varepsilon = 0,004\varepsilon$. При относительном удлинении $\varepsilon > 430\%$ наблюдался разнovidный оптический анизотропный эффект, приобретает белый оттенок и разрушается пленка.

3. Определена линейная зависимость между оптической анизотропией и деформационным удлинением тонкослойных нетканых материалов на основе волокон фиброина различной толщиной. Показано, что функция зависимости фактора ориентации от относительной деформации для микроволоконных нетканых материалов имеет вид $\beta = k\varepsilon = 0,0112\varepsilon$, а нановолоконных нетканых материалов $\beta = k\varepsilon = 0,0084\varepsilon$.

4. Проведен сравнительный анализ поверхностно-активных свойств изотропно-анизотропных нетканых материалов с фактором ориентации $\beta = 0,5$ и $\beta = 0,8$, полученных на основе волокон фиброина и сополимера акрилонитрила различной толщиной с фактором ориентации $\beta = 0,8$. При повышении фактора ориентации от 0,5 до 0,8 сорбционные показатели уменьшились на 30 %, способность фильтрации машинного масла увеличилась от 2,60 % до 3,96 %. Повышенное значение электрокинетического потенциала выше ± 30 мВ показало стабильность и устойчивость взаимодействия нетканых анизотропных материалов с ионами электролита.

5. Собрана специальная механооптическая установка для проведения исследований по оптической анизотропии деформационных изменений пленкообразных и тонкослойных нетканых материалов при одноосном и симметричном растяжении. Посредством данной установки определены принципиальные особенности и закономерности протекающих процессов на уровне сегментального удлинения и молекулярного скольжения и разрыва в материалах, подвергнутых различной степени деформирования.

**SCIENTIFIC COUNCIL ON AWARD SCIENTIFIC DEGREES
DSc. 02/30.12.2019.K/FM/T.36.01 AT INSTITUTE OF POLYMER
CHEMISTRY AND PHYSICS**

NATIONAL UNIVERSITY OF UZBEKISTAN

MATYAKUBOV BEKZOD MATNAZAROVICH

**ANISOTROPIC PROPERTIES OF THIN-LAYER
POLYMER MATERIALS**

01.04.06 – Polymer physics

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

Tashkent-2021

The theme of doctor of philosophy (PhD) has been registered by the Supreme Attestation Commission at the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan with registration numbers of B2019.3.PhD/FM412.

The dissertation was carried out at the National University of Uzbekistan.

The abstract of dissertation in three languages (Uzbek, Russian, English (resume)) is available online (polchemphys.uz) and on the website of "ZiyoNET" information-educational portal (www.ziynet.uz).

Scientific supervisor: **Kholmuminov Abdulfatto**
doctor of physical and mathematical sciences, professor

Official opponents: **Abdurakhmanov Umarbek**
doctor of physical and mathematical sciences, professor

Nurgaliev Inar
doctor of physical and mathematical sciences

Lead organization: **Samarkand state university**

The defense of the dissertation will take place on "___" _____2021 at ___ hours at a meeting of the Scientific Council DSc.02/30.12.2019.K/FM/T.36.01 at the Institute of Polymer Chemistry and Physics (Address: 100128, Tashkent city, Abdulla Kadiri str., 7^b. Ph: (+99871) 241-85-94; fax: (+99871) 241-26-61, e-mail: polymer@academy.uz).

The dissertation can be reviewed at the Information Resource Centre of the Institute of Polymer Chemistry and Physics (registration number ___ (Address 100128, Tashkent city, Abdulla Kadiri str., 7^b. Ph: (+99871) 241-85-94).

The abstract of the dissertation has been distributed on «___» _____2021 year.
(Protocol at the register №___ dated «___» _____2021 year).

S.Sh. Rashidova

Deputy of chairman of scientific council for
Awarding the scientific degrees, Doctor of
Chemical Sciences, Professor, Academician

M.M. Usmanova

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 (PhD) thesis)

The aim of research work is the relationship between the deformation change and the functional activity of the optical anisotropy of thin-layer porous materials of lamellar and fibrillar structure based on polyethylene, fibroin and acrylonitrile copolymer.

The object of research work Polyethylene, fibroin and acrylonitrile copolymer.

The scientific novelty of the research consists of the following:

for the first time, the optimal conditions for the formation of a thin-layer nonwoven material based on fibroin of an isotropic-anisotropic structure have been determined;

for the first time, the functions and coefficients of the relationship of the relative deformation with the optical anisotropy of thin-layer polymeric materials were determined, and the peculiarities of the relationship between the relationship of optical anisotropy and the relative deformation were also revealed;

for the first time, the physical principles of controlling deformation changes of film-lamellar structural thin-layer polymeric materials under symmetric and one-sided stretching in optical anisotropy are shown;

thin-layered materials based on fibroin is obtained, acrylonitrile copolymer, principles of revealing their surface activity using the methods of sorption, nano filtration, zeta potential are determined, the role of anisotropic effects is investigated.

Implementation of research results. Based on the scientific results obtained on the anisotropic properties of thin-layer polymer materials:

nanofiber thin-layered non-woven materials obtained in the framework of scientific research have been tested in the specialized scientific-practical center of dermatology and venereology of the republic under the Ministry of Health of the Republic of Uzbekistan and the results obtained indicate that thin-layered nanofiber nonwoven materials can be used as an effective means in the treatment of open wounds. (Reference of the Sanitary-Epidemiological Peace and Public Health Service of the Republic of Uzbekistan dated November 16, 2020 No №04-8/388). As a result, the possibility of practical application of thin-layer nonwoven nanofiber materials as an effective means in the treatment of open wounds has been shown.

the device developed within the framework of this thesis for polarization-optical control of deformation processes was used in the implementation of the practical project A-4-13 on the topic “Development of technology for the production of nanofiber nonwoven materials based on fibroin, chitosan and acrylonitrile copolymer by the electrospinning method” in 2015-2017 at the National University of Uzbekistan named after Mirzo Ulugbek (Information No. 89-03-3244 dated September 11, 2020, Ministry of Higher and Secondary Specialized Education of the Republic of Uzbekistan). As a result, it became possible to study and control the optical anisotropy of the processes of reversible and irreversible deformation changes, as well as the destruction of nanofiber materials under mechanical and thermal influences.

The structure and volume of the thesis. The dissertation consists of an introduction, 4 chapters, conclusions, a list of references and appendixes. The volume of dissertation is 100 pages.

ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РЎЙХАТИ
СПИСОК ОПУБЛИКАННЫХ РАБОТ
LIST OF PUBLISHED WORKS

I бўлим (I часть; part I)

1. Kholmuminov A.A., Matyakubov B.M. Anisotropic properties of nanofiber porous materials of fibroin silk and cotton cellulose // Modern Physics Letters B, Vol. 35, No. 02, 2150276 (2021), (Scopus, Cite Score 1.70, IF=1.224).

2. Kholmuminov A.A., Matyakubov B.M., Rakhmonov T.T. Optical anisotropic properties of nanofiber polymer materials // International Scientific Journal Theoretical and Applied Science. USA, Philadelphia, 2020, Vol. 82, No. 02, P. 249-253. (IF=7,1 (SJIF)).

3. Kholmuminov A.A., Matyakubov B.M., Rakhmonov T.T. Anisotropic, sorption and filtering properties of thin-layer polymer materials // Chemistry & Material Sciences Research Journal, 2021, Vol. 3, No.2, P. 15-27, (CrossRef, Research Gate).

4. Kholmuminov A.A., Matyakubov B.M. Nano-fiber nonwoven materials of polymers with surface-active properties // Journal of Scientific and Engineering Research, 2019, Vol. 11, No. 6, P. 232-235., (IF=0,4 (JIF), Google Scholar).

5. Холмуминов А.А., Матякубов Б.М. Анизотропные свойства нановолоконных пористых материалов фиброина шелка и хлопковой целлюлозы // Узбекский Физический Журнал. 2020. Vol. 22, No. 4, pp.254-258. (01.00.00, №5).

6. Матякубов Б.М. Влияние деформации на оптической анизотропии тонкослойных полимерных материалов // Ж. Вестник НУУз, 2020, [3/1], с.220-224, (01.00.00, №8).

7. Холмуминов А.А., Матякубов Б.М. О свойствах нановолоконных анизотропных нанопористых материалов // Ж. Научный вестник СамГУ. 2020. - № 1 – с.143-149 (01.00.00, №2).

8. Matyakubov B.M. Determination of anisotropy of thin-layer polymeric materials by the polarization-optical method // Наманган Давлат Университети илмий ахборотномаси, 2020. - №7 – с.41-48. (01.00.00, №14).

9. Холмуминов А.А., Матякубов Б.М. Формование полимерных наноматериалов посредством электрических полей. Ўзбекистон Республикаси Миллий гвардияси Ҳарбий-техник институти ахборотномаси 2018. - №3 – с.163-165. (05.00.00, №32).

II бўлим (II часть; part II)

10. Kholmuminov A.A., Matyakubov B.M., Rakhmonov T.T. Mechanical properties of electrospun silk fibroin nanofiber materials. Proceedings of the 8th International Scientific and Practical Conference // № 3 (39) Manchester, Great Britain, 2020, 26-28 December, pp. 1475-1480.

11. Холмунинов А.А., Матякубов Б.М. Изучение деформационных изменений тонкослойных полимерных материалов методом двулучепреломления. “Тенденции развития современной физики полупроводников: проблемы, достижения и перспективы”, Международная научно-практическая онлайн конференция, 28 май 2020 г, стр. 228-234.

12. Matyakubov B.M. Formation of thin-layer polymeric materials and their physical properties. Scientific ideas of young scientists, International scientific and practical conferences, Warsaw, Poland, 2020, September, pp.28-30.

13. Холмунинов А.А., Матякубов Б.М. Полимер нанотолали нанофовакли материаллар оптик анизотропияси Физика фанининг ривожиди истеъдодли ёшларнинг ўрни// РИАК-ХП-2020// Республика илмий анжумани. 2020 йил 19 май., 296 – 301 б.

14. Матякубов Б.М., Хаккулов Ж.М., Холмунинов А.А. Полимер композитларни 2D реологик усулда шаклланиши. Яримўтказгичлар физикасининг хозирги замон муаммолари республика илмий анжумани, 2018 йил 26-27 октябрь, стр., 114-116.

15. Матякубов Б.М., Холмунинов А.А., Холназаров Ф.Ж. Нанотолали нотўқима қатламли материалларнинг анизотропик ва сорбцион хоссалари. “Физика ва замонавий астрономия: Инновацион ўқитишнинг янги моделларини яратиш”, Республика илмий-амалий конференция материаллари. 2019 йил 16 апрель, 51-52 б.

16. Матякубов Б.М., Шерниёзов Б.Ш., Халилов Ш.Э., Ходжаева Н.К., Холмунинов А.А. Выделение серы из отходов переработки нефтегазового сырья и её характеристики. Яримўтказгичлар физикасининг хозирги замон муаммолари республика илмий анжумани, 2018 йил 26-27 октябрь, стр. 130-131.

17. Матякубов Б.М., Холмунинов А.А., Ходжаева Н.К., Қосимов А.С. Нановолоконные слоистые материалы на их основе биосовместимых полимеров. Техник ва технологик фанлар соҳаларининг инновацион масалалари, ТДТУ Термез филиали. 2020 йил 22-сентябрь 26-27б.

Автореферат «ЎзМУ хабарлари» журнали таҳририятида таҳрирдан ўтказилиб, ўзбек, рус ва инглиз тилларидаги матнлар ўзаро мувофиқлаштирилди.

Бичими: 84x60 ¹/₁₆. «Times New Roman» гарнитураси.
Рақамли босма усулда босилди.
Шартли босма табағи: 3. Адади 100. Буюртма № 35/21.

Гувоҳнома № 10-3719
«Тошкент кимё технология институти» босмаҳонасида чоп этилган.
Босмаҳона манзили: 100011, Тошкент ш., Навоий кўчаси, 32-уй.