

**МАРКАЗИ ИЛМИИ ХУЧАНДИ  
АКАДЕМИЯИ МИЛЛИИ ИЛМҲОИ ТОҶИКИСТОН**

**Бо ҳуқуқи дастнавис**

**ТДУ: 532.783+538.95 (1, 6, 8)**

**КАРИМОВ СОРБОН КАРИМОВИЧ**

**СОҲТОР ВА ХУСУСИЯТҲОИ ФИЗИКИЮ МЕХАНИКИИ  
ПАРДАҲОИ ПОЛИМЕРИИ БО КРИСТАЛЛИ МОЕЪ  
ДИСПЕРГИРОНИДАШУДА**

Диссертатсия барои дарёфти дараҷаи илмӣ  
номзади илмҳои физика ва математика  
аз рӯи ихтисоси 01.04.07 - физикаи ҳолатҳои конденсӣ

Рохбари илмӣ:  
доктори илмҳои физикаю математика

Абдуманонов Абдуалӣ

Мушовири илмӣ:  
доктори илмҳои физикаю математика  
Махсудов Барот Исломович

**Душанбе – 2023**

## МУНДАРИҶА

Номгӯи ихтисораҳо, аломатҳои шартӣ .....	4
Муқаддима.....	5
<b>БОБИ I. ТАҲЛИЛИ АДАБИЁТҲО</b> .....	14
1.1. Ҳолати кристаллии моеъи модда .....	14
1.2. Таснифоти кристаллҳои моеъ .....	16
1.3. Хосиятҳои физикии кристалли моеъ .....	20
1.4. ЭффеҶтҳои электрооптикӣ дар кристалли моеи нематик .....	25
1.5. Сохтори самтдигаркунӣ дар қатраи нематик бо шартҳои ҳудудии гуногун .....	28
1.6. Маводҳои таркибии кристалли моеъгӣ .....	31
1.7. Пардаҳои полимери кристалли моеи нематик дошта .....	37
1.8. Мустаҳкамӣ ва вайроншавии маводҳои таркибии полимерӣ .....	41
1.9. Гузориши масъалаҳои ҳалталаб дар рисолаи диссертатсионӣ .....	46
<b>БОБИ II. МАВОД ВА МЕТОДҲОИ ТАҲҚИҚОТ</b> .....	48
2.1. Обьекти таҳқиқот .....	48
2.2. Усулҳои тайёр кардани композитҳои полимери кристалли моеъ дошта ....	54
2.3. Усулҳои муайян кардани хосиятҳои механикии композитҳои полимерӣ .....	57
2.4. Усулҳои муайянкунии хосиятҳои электрофизикии маводҳои таркибии полимерӣ .....	60
2.5. Усули спектроскопияи инфрасурх (ИС).....	62
2.6. Усули микроскопияи поляризатсионӣ барои таҳқиқи пардаҳои полимери кристалли моеъ дошта .....	65
<b>БОБИ III. ЧЕНКУНИҲОИ ТАҶРИБАВИИ ОИД БА ПАРАМЕТРҲОИ МЕХАНИКӢ ВА ЭЛЕКТРОФИЗИКИИ ПАРДАҲОИ ПОЛИМЕРИИ КРИСТАЛЛИ МОЕЪДОШТА</b> .....	68
3.1. Омӯзиши хосиятҳои мустаҳкамии пардаҳои композитии дар заминаи полимер ва кристалли моеъ асосёфта .....	68

3.2. Таъсири суръати боргузорӣ ба хосиятҳои мустаҳкамии пардаҳои полимерии кристалли моеъ дошта .....	75
3.3. Хосиятҳои деформатсионии пардаҳои полимерии кристалли моеъ дошта дар усули хазандагӣ .....	80
3.4. Таъсири радиатсияи офтобӣ ба хосиятҳои механикии пардаҳои полимерии кристалли моеъ дошта .....	86
3.5. Таъсири ҳарорат ба хосиятҳои электрофизикии пардаҳои полимерии кристалли моеъ дошта .....	90
3.6. Хосиятҳои диэлектрикии пардаҳои композитии дар заминаи полимер ва кристалли моеи нематик асосёфта .....	93
<b>БОБИ IV. ХУСУСИЯТҲОИ СПЕКТРАЛИИ ПАРДАҲОИ ПОЛИМЕРИИ КРИСТАЛЛИ МОЕЪГӢ</b> .....	98
4.1. Таҳлили пурраи спектри инфрасурхи пардаҳои полимерии кристалли моеъ дошта.....	98
4.2. Таҳқиқи таъсири қатраи нематик дар тавсифоти спектралии композитҳои полимерӣ .....	102
4.3. Гузаришҳои конформатсионӣ дар пардаҳои полимерии кристалли моеъ дошта .....	106
Хулоса .....	112
<b>Тавсияҳо оид ба истифодаи амалии натиҷаҳои таҳқиқот</b> .....	113
<b>Номгӯи адабиёти истифодашуда</b> .....	115
<b>Интишорот аз рӯи мавзӯи диссертатсия</b> .....	134
<b>Замимаҳо</b> .....	138

## Номгӯи ихтисораҳо, аломатҳои шартӣ

КМ – Кристалли моеъ

КМН – Кристалли моеъи нематик

КМХ – Кристалли моеъи холестерик

КМС – Кристалли моеъи смектик

ППКМ – Пардаҳои полимери кристалли моеъ дошта

КМПД – Кристалли моеъи дар полимер диспергиридашуда

ХОКМ – Характеристикаҳои оптикӣ кристалли моеъ

КМПТ – Кристалли моеъи дар полимер тасбиткардашуда

7СВ - 4-*n*-гептил-4'-*n*-сианобифенил.

*n*С – Алкилсианобифенил

ПВБ – Поливинилбутирал

СПВ – Спирти поливинилӣ

СИ – Спектри инфрасурх

МСФ – моддаҳои сатҳии ғаъол

КДС – калориметрияи дифференсиалии сканиронида

## МУҚАДДИМА

**Мубрамии мавзӯи таҳқиқот.** Рушди босуръати самти нанотехнология барои таҳкими омӯзиши назарраси ҳодисаҳои гуногуни сатҳӣ дар ҳудуди байни ду муҳит мусоидат менамояд. Падидаи мазкур, махсусан, дар он вақт возеху равшан мегардад, ки яке аз ин муҳитҳо кристалли моеъ бошад. Дар ин замина хосиятҳои мазкур имкон медиҳанд, ки сохтори зарурии самтгирии қабати кристалли моеъ тавассути ташаккул додани шароити мувофиқи сарҳадӣ ба вучуд оварда шаванд ва барои таҷҳизотҳои мониторингҳои кристалли моеъгӣ ҳамчун элементи асосӣ хизмат кунанд.

Зери мафҳуми омехтаҳои кристалли моеъгӣ (КМ) полимери шаффоф ё худ шишагиро мефаҳманд, ки дар сатҳ ва ҳаҷми онҳо қатраҳои микроскопии кристалли моеъ диспергирида шудаанд. Чунин маводҳо хосиятҳои механикии полимерҳоро (мустаҳкамӣ, дарозумрӣ, тобоварӣ ба муҳити аз нуқтаи назари химиявӣ фаъол, чандирӣ ва эластикӣ) бо хосиятҳои физикии ғайриоддии кристалли моеъ (анизотропияи хосиятҳои оптикӣ, диэлектрикӣ ва шикасти дугунаи рӯшноӣ) алоқаманд менамоянд. Сохторҳои кристалли моеъ дошта тавассути усули эмулсионӣ ё полимеризатсия бо истифодаи технологияи содда ва як марҳилагӣ омода карда мешаванд. Доираи истифодаи чунин маводҳо ниҳоят васеъ ва доманадор буда, шояд ягон самти саноат вучуд надошта бошад, ки аз дастоварду комёбиҳои илмӣ дар самти омӯхтани сохтор ва хосиятҳои онҳо истифода бурда нашаванд.

Мисоли сохторҳои мазкур амалисозии аз нав самтгирии қабати кристалли моеи нематикӣ (КМН), ки дар пардаи полимерӣ, ба монанди спирти поливинилӣ (СПВ) ва поливинилбутирал (ПВБ) диспергирида шуда аст, шуда метавонад. Дар ин ҳолат, таъсири самтнокунии парда бояд гуногун бошад (планарӣ ё гомеотропӣ). Тағйирёбии ҳарорат ё ғафсии пардаи полимерӣ мувозинати таъсири омилҳои самтнокуниро дигаргун намуда, боиси аз нав самтнокшавии қабати КМ мегардад.

Аз нуқтаи назари таърихӣ, нахустин таҳқиқот, оид ба хосиятҳои кристалли моеъгӣ дар асри XIX аз тарафи биологи австриягӣ Ф. Рейнитсер ва кристаллшиноси олмонӣ Отто Леман гузаронида шуда буд<sup>1</sup>. Ҳангоми таҳқиқи пайвастагии холестеринбензоат дар он шиканиши дугунаи оптикӣ нурро пайдо намуданд, ки ин хусусият танҳо ба ҷисмҳои кристаллӣ хос аст. Муаллифони дигар дар қорҳои минбаъда, маълум намуданд, ки тартибноқшавии самтгирии кристалли моеъ дар қатраҳо аз якҷанд омилҳо вобаста аст: таносуби собитҳои чандирии КМ, андоза ва шакли қатраҳо, таъсири омилҳои беруна ва шартҳои ҳудудӣ.

**Дарачаи таҳқиқи мавзӯи илмӣ:** Солҳои охир як қатор таҳқиқоти нодир, ки ба қорқард ва омӯзиши сохтори кристаллҳои моеъ бо бандиши сатҳии назоратшаванда вобастагӣ доранд, гузаронида шуданд. Таъсири самтгирии қатраҳои КМ аз ҳисоби тағйир додани шартҳои ҳудудӣ дар натиҷаи ташаккули қабати наноандозавии моддаҳои фаъоли сатҳӣ, (сурфактант) таҳти таъсири майдони беруна, пешниҳод ва амалӣ карда шудааст. Бо вучуди ин, ҳанӯз ҳам муаммоҳои илмӣ оид ба дарёфти пардаҳои полимери кристалли моеъ дошта бо хосиятҳои оптималии сохторӣ ва механикӣ мавҷуд мебошад. Ин масъала бештар аҳамияти илмии натиҷаҳои таҳқиқоти пешниҳодшударо муайян месозад, зеро дар анҷоми он ба даст овардани маҷмӯи маълумотҳои таҷрибавӣ ва назариявӣ дар назар аст, ки механизмҳои физикӣ таъсири ба амал омадаро муфассалтар тавсиф мекунад. Таҳлилҳои дар боло зикргардидаи проблемаи илмӣ таҳқиқот, истифодаи амалии пардаҳои полимери кристалли моеъ дошта, нуқтаҳои асосии қори диссертатсиониро ифода менамоянд.

**Робитаи таҳқиқот бо барномаҳо (лоиҳаҳо) ва ё мавзӯҳои илмӣ:**

Рисола дар доираи лоиҳаҳои «Таҳқиқи масъалаҳои микромеханикаи вайроншавии маводҳои гетерогенӣ ва таркибӣ» барои солҳои 2016-2020, № 0116TJ00583 аз 29.04.2016, ва «Таҳқиқи структура, хусусиятҳои механикӣ ва

---

<sup>1</sup>Lehmann O., Ztschr. Phys. Chem., 5, 427 (1890)

оптикий элементҳои нави оптоэлектронӣ дар заминаи композитҳои полимерии кристалли моеъ дошта» барои солҳои 2021-2025, № 0121ТJ1107 аз 10.03.2021, ки аз ҳисоби буҷаи давлатии ҶТ маблағгузори шудааст, иҷро гардидааст.

## **ТАВСИФИ УМУМИИ ТАҲҚИҚОТ**

**Мақсади таҳқиқот.** Коркард ва таҳқиқи усулҳои ташаккулдиҳии сохторҳои дар заминаи полимерҳои бисёрфункционалӣ ва кристалли моеи нематикӣ асос ёфта барои муайянкунии вобастагии хосиятҳои морфологӣ (физикию механикӣ ва электрофизикӣ) аз таркиби ибтидоии сохтор ва дигар речаҳои технологӣ.

### **Вазифаҳои таҳқиқот:**

- ҳосил кардани пардаҳои сохтории бисёрчӯзӣ (матритсаи полимерӣ, кристалли моеи нематик 7СВ, глитсерин, ҳалқунанда) ва омода намудани намунаҳои оптималӣ барои гузаронидани таҷрибаҳо;

- коркарди роҳҳои амалӣ гардонидани падидаи аз нав самтгирии молекулаи кристалли моеъ барои тағйир додани сохтор ва нишондодҳои физикию механикии пардаҳои сохторӣ вобаста аз таносуби чӯзӣҳо, ҳарорат ва дигар омилҳои беруна;

- таҳқиқи таъсири андоза, шакл ва усули деформатсиякунӣ ба хосиятҳои оптикий маводи алоқаманд кунанда:

- таҳқиқи хусусиятҳои морфологии (хосиятҳои электрофизикӣ) пардаҳои сохтории кристалли моеъ дошта дар майдони ҳарорат;

- омӯзиши гузаришҳои конформатсионӣ дар пардаҳои полимерии қатраи кристалли моеъ дошта;

- омӯхтани текстураи пардаҳои омодашуда ва конфигуратсияи директор дар ҳаҷм ва сарҳади қатраи кристалли моеи нематикӣ.

**Объекти таҳқиқот:** Пардаҳои сохторӣ дар заминаи полимери бо кристалли моеъ диспергиронида шуда истифода шудааст. Ба сифати чӯзӣ кристалли моеъ, навъи ҳамаҷониба омӯхта шудаи нематикӣ 4-н-гептил-4'-н-

сианобифенил (7СВ)-ро истифода шудааст, ки ҳарорати равшаншавиаш  $T_c=42,5^{\circ}\text{C}$ , нишондоди шикасти рӯшноиааш дар ҳарорати  $T=25^{\circ}\text{C}$  ва дарозии мавҷи  $\lambda=0,633$  мкм ба  $n_{\parallel}=n_{e,max}=1.725$  ва  $n_{\perp}=n_o=1.534$  баробар аст. Вазифаи матритсаи полимериро ду навъ полимерҳо: спирти поливинилӣ (СПВ) ва поливинилбутирал (ПВБ) иҷро намуданд. Полимерҳои мазкур барои кристалли моеи интихобшуда шартҳои ҳудудии тангенсалиро таъмин менамоянд.

**Мавзӯ (предмет)-и таҳқиқот:** Таҳқиқи хусусиятҳои физикию механикии пардаҳои полимери кристалли моеъ дошта; омӯзиши сохтор ва хусусиятҳои морфологии объекти таҳқиқотӣ; омӯзиши гузаришҳои конформатсионӣ вобаста аз таъсири майдонҳои механикӣ ва дигар омилҳои беруна.

**Навгони илмӣ таҳқиқот:**

1. Бори аввал дар таҷриба тавсифоти морфологӣ ва физикию механикии пардаҳои полимери кристалли моеъ дошта вобаста ба таносуби компонентаҳо ва дигар омилҳои беруна аз нуқтаи назари илмӣ омӯхта ва **асоснок карда шуданд.**
2. **Муайян карда шуд**, ки бо афзуншавии миқдории ҷузъи кристаллҳои моеъ дар сатҳи матритсаи полимерӣ мустаққамии он то андозае кам мешавад.
3. Равандҳои аз нав самтнокшавии молекулаҳои кристаллҳои моеи 7СВ дар матритсаи полимери ПВБ **ошкор карда шуданд.** Онҳо бо рақобати таъсири мутақобилаи молекулавию электростатикии занҷирҳои алкилӣ ва моментҳои диполӣ дар сарҳади байни ду муҳит алоқаманданд.
4. **Муқаррар карда шудааст**, ки конформатсияи устувортарини молекулаи 7СВ ( $\text{X}\equiv\text{OCH}_3$ ,  $\text{OS}_3\text{H}_7$ ) дар ҳолати ибтидоӣ - ин твист-конформатсия бо гардиши изомерияи мономери ба ҳисоб меравад.
5. **Муайян карда шуд**, ки дарозшавии занҷири алифатӣ дар ҷузъи  $\text{C}_3\text{H}_7$ -и формулаи сохтори КМН-и 7СВ ҳангоми деформатсия боиси ба вуҷуд овардани тағйироти дар хусусияти сохтори геометрии молекула намегардад.



**Аҳамияти назариявии таҳқиқот.** Муайян карда шуд, ки пардаҳои композитии полимерии кристалли моеъ дошта асосан дар соҳаҳои технологияи индикаторӣ ва оптоэлектроника истифода мешаванд, ки хосиятҳои хеле баланди электрооптикӣ доранд. Сарфи назар аз зарурати омӯхтани хосиятҳои электрооптикий онҳо, зарурияти таҳқиқ ва омӯхтани хосиятҳои физикию механикий онҳо ба миён меояд. Натиҷаҳои таҷрибавӣ нишон доданд, ки чунин сохторҳо мустақамии муайяни механикӣ ва дараҷаи деформатсияшавии баланд доранд. Дар ин асос таҳти таъсири кашиши яксамта қатраҳои хурди қабати матритсаҳои полимерӣ сохтори худро тағйир медиҳанд. Таъсири майдони электрӣ ба конфигуратсияи мувозинатии директории молекулаи кристалли моеъ ошкор карда шудааст. Самтнокшавии гомеотропии майдони директор муқаррар карда шудааст, ки он ба механизми электростатикӣ ва молекулавии таъсири мутақобила байни ҷузъҳои ҳалқаҳои бензолии кристалли моеи нематик (7СВ) ва макромолекулаҳои ПВБ дар ҳудуди тақсимот вобаста аст.

**Аҳамияти илмию амалии таҳқиқот.**

1. Қорқарди технологияи ҳосилкунии маводи сохтории нав дар заминаи пардаи полимерӣ ва кристалли моеи навъи нематикӣ 7СВ бо нишондодҳои морфологияи беҳтар гардонида шуда, ки барои таҳқиқотҳои илмӣ бунёди зарур аст, амалӣ карда шуд.
2. Натиҷаҳои қори мазкур барои истифода дар соҳаи сохтани элементҳои нави оптоэлектронӣ ва таҷҳизотҳои индикаторӣ тавсия карда мешаванд.
3. Хулосаҳои илмӣ дар рисола пешниҳод шаванда, барои муқоиса бо дастовардҳои илмӣ дар соҳаи оптоэлектроника ва техникаи дисплей бо истифода аз маводҳои сохторӣ дар заминаи полимерҳои хаттӣ ва кристалли моеъ, бо назардошти нишондодҳои морфологӣ, ки дар қори мазкур тадқиқ шудааст, нигаронида шудаанд.

**Нуқтаҳои ба ҳимоя пешниҳодшаванда:**

1. Ташаккулёбии қатраҳои кристалли моеи 7СВ дар ҳаҷм ва сатҳи матритсаи полимерӣ бо сохтор ва конфигуратсияи директори идорашаванда вобаста аз таркиб ва концентратсия, шарти омодаسازیи маҳлул ва речаи таҳқиқот.
2. Ҳосилшавии сохторҳои идеалӣ дар дохили қатраи кристалли моеи 7СВ бо хатҳои дисклинатсионӣ ва нуқсонҳои нуқтагӣ ҳангоми таъсири ҳамчояи қувваи механикӣ ва ҳарорат.
3. Вобастагии концентратсионии бузургии мустаҳкамии вайроншавии пардаҳои сохторӣ дар алоқамандӣ аз речаҳои статикӣ ва динамикии боргузорӣ.
4. Алоқамандии ҳароратии бузургии тангенс кунҷи талафи диэлектрикӣ ( $\text{tg}\delta$ )-и полимери таҳқиқ шаванда дар соҳаи гузаришҳои фазавии Кристалл - Нематик ва Нематик - Моеи изотропӣ бо назардошти ҳиссаи энергия дар сатҳҳои қабат.
5. Идорашаванда будани ҳодисаи азнавтақсимбандии интенсивнокии хати фурӯбурд дар спектрҳои инфрасурхи пардаҳои сохтории таҳқиқшаванда, ки аз лаппишҳои валентӣ вобаста аст, дар алоқамандӣ аз фоизи миқдории кристалли моеи 7СВ дар таркиби полимери матритсавӣ.

#### **Дарачаи эътимоднокии натиҷаҳо:**

Барои ҳалли масъалаи дар кори мазкур гузошташуда усулҳои замонавии таҳқиқот, ба мисли спектроскопияи инфрасурх, электрофизика ва микроскопияи поляризатсионии оптикӣ истифода шуданд. Бо истифода аз стандартҳои ченкуний барои хусусиятҳои электрӣ, спектри инфрасурх, нишондодҳои оптикӣ ва технологияи коркарди сохторҳои полимери кристалли моеъ дошта, таҳқиқотҳои таҷрибавӣ гузаронида шуданд. Натиҷаҳои таҳқиқот бо истифодаи усулҳои замонавии ҳассос (спектроскопияи инфрасурх, микроскопияи электрооптикӣ ва поляризатсионӣ), коркарди саҳеҳи натиҷаҳо бо истифода аз пакети барномаҳои амалӣ (SigmaPlot, DShow and TWIN, MS Excel) гузаронида шуда

ба натиҷаҳои ҳисобкуниҳои математикӣ ва хулосаҳои муаллифони дигар мутобиқат мекунад.

**Мутобиқати диссертатсия ба шиносномаи ихтисоси илмӣ.** Нуқтаҳои асосии рисолаи диссертатсионии мазкур, ки ба шиносномаи ихтисоси “01.04.07 – Физикаи ҳолатҳои конденсӣ” мутобиқат мекунад, инҳоянд:

1. Бо роҳҳои назариявӣ ва таҷрибавии омӯзиши табиати физикии хусусиятҳои пайвастагиҳои органикӣ ва ғайриорганикӣ, диэлектрикҳо, системаҳои органикӣ ва ғайриорганикии бетартиб, аз ҷумла моеъҳои классикӣ ва квантӣ, шишаҳо ва системаи дисперсии табиати гуногун дошта, вобаста аз таркиби химиявӣ, изотопӣ, ҳарорат ва фишори онҳо:

2. Усулҳои оптикии нақл ва коркарди маълумотҳо, асосҳои физикии ҳисоббарории квантӣ. Паҳнкунӣ ва фурубурди рӯшноӣ аз тарафи атомҳо ва молекулаҳои ҷудогона ва ба ҳам таъсиркунанда, равандҳои динамикӣ ҳангоми таъсири мутақобилаи рӯшноӣ ба модда, раванди ҷудошавии энергия аз тарафи модда дар зери таъсири рӯшноӣ. Идоракунии ҳаракати рӯшноӣ ва ҳолати квантии атомҳо.

3. Хусусиятҳои структуравӣ, морфологӣ ва механикии наноматериалҳо ва сохтори композитҳо дар асоси онҳо. Усулҳои омӯзиши наноматериалҳо ва сохтори композитҳо. Методҳои технологияи ҳосилкунии наноматериалҳо, сохтори композитҳо, сохторҳои андозаи ниҳоят хурд дошта, таҷҳизотҳо ва дастгоҳҳои интегралӣ дар заминаи онҳо асосёфта.

4. Коркарди сохти моделҳои диаграммаи фазавии ҳолат ва пешгуии тағйироти хусусиятҳои физикии моддаҳои конденсатсияшуда вобаста ба таъсири омилҳои беруна ба онҳо.

**Саҳми шахсии докталаби дараҷаи илмӣ дар таҳқиқот:** Унвонҷӯӣ бевосита интиҳоби методикаи гузаронидани таҷрибаҳо ва объектҳои таҳқиқот, коркарди методҳои назариявӣ ва таҷрибавӣ, тарҳрезӣ ва мувофиқкунии параметрҳоро пеш аз ченкунии онҳо, таҳлил ва муҳокимаи натиҷаи ченкуниҳои таҷрибавиро анҷом додааст. Ҳамзамон қисми асосии муҳокимаи натиҷаҳои

таҳқиқот, таҳияи усулҳои коркард ва параметрҳои гузаронидани таҷрибаҳо, омода намудани мақолаҳои илмӣ ва инчунин пешниҳоди натиҷаҳои кор дар конференсҳои бевосита бо иштироки ӯ амалӣ карда шудааст.

**Тасвир ва амалисозии натиҷаҳои диссертатсия.** Натиҷаҳои асосии кор ва таҳқиқотро муаллиф дар конференсияҳои зерин маъруза ва муҳокима кардааст:

Конференсияи байналмилалии «Нано-2014», бахшида ба 90-солагии пойтахти ҚТ, шаҳри Душанбе (25 декабри 2014 с.); конференсияи ҷумҳуриявии «Масъалаҳои муосири физикаи ҳолати конденсӣ» ДМТ, Душанбе 2015 с.; Конференсияи байналмилалии «Перспективы развития физической науки», бахшида ба хотираи (80-солагӣ)-и Арбоби шоистаи илм ва техникаи ҚТ, аъзо – корр. АМИТ, доктори илмҳои физ. – мат., профессор Хақимов Ф.Х. ДМТ. ш. Душанбе, 2017; 14<sup>th</sup> International Conference on Creep and Fracture of Engineering Materials and Structures (Creep 2017), Sankt-Petersburg, June 18 – 22, 2017; Конференсияи илмӣ-амалии “Рушди фанҳои табиатшиносӣ дар давраи Истиқлолияти ҚТ”, ДКМТ, ш. Бустон, 04 январи с. 2017; Конференсияи байналмилалии «Масъалаҳои актуалии физикаи муосир» бахшида ба 80-солагии Арбоби илм ва техникаи Тоҷикистон, доктори илмҳои физ.-мат., профессор Нарзиев Б.Н., ДМТ, Душанбе, 18 апрели с. 2018; Конференсияи VI байналмилалии “Муаммоҳои мубрами физика”, Душанбе, ИФТ ба номи С.Умарови АМИТ 28-30 июни с. 2018; Конференсияи ҷумҳуриявии илмӣ-амалии «Нақши фанҳои табиӣ-риезӣ дар рушди соҳаи саноати тоҷик», ДКМТ, 2 июни с. 2018; Конференсияи VI байналмилалии «Муаммоҳои мубрами физика», бахшида ба 110 солагии академик С.У. Умаров ва 90-солагии академик А.А. Адхамов, ИФТ ба номи С. Умарови АМИТ, Душанбе, 28-30 июни с. 2018; Конференсияи байналмилалии илмию амалӣ дар мавзӯи “Дурнамои рушди илм ва маориф” ДТТ ба номи академик М.С. Осимӣ, Душанбе, 27-28 ноябри с. 2019; Конференсияи ҷумҳуриявии «Муаммоҳои физикаи муосир дар раванди саноатикунории Ҷумҳурии Тоҷикистон», Хуҷанд, ДДХ ба номи академик Б. Ғафуров 29-30 апрели с. 2020; Симпозиуми байналмилалии “Перспективные

материалы и технологии», Минск, Белорусский государственный институт стандартизации и сертификации», 23-27 августи с. 2021, LXIV- конференсияи байналмилалӣ «Муаммоҳои мубрами мустаҳкамӣ» 4-8 апрели соли 2022, Екатеринбург; IV- умин Конференсияи байналмилалӣ илмӣ-амалии «Илм ва технология», ш. Алмато, Казокистон, соли 2022; Конференсияи байналмилалӣ дар мавзӯи «Мақоми физика дар рушди илм, маориф ва инноватсия» бахшида ба «Бистсолаи омӯзиш ва рушди фанҳои табиатшиносӣ, дақиқ ва риёзӣ дар соҳаи илму маориф (солҳои 2020-2040)», ДМТ, 27 октябри соли 2022.

**Интишорот аз рӯйи мавзӯи диссертатсия.** Маводҳои диссертатсия дар 25 нашрияи илмӣ, аз ҷумла 9 мақола дар маҷаллаҳои тақризшавандаи ҚОА назди Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон, 16 тезису мақола дар маводи конференсияҳои илмию амалии байналмилалӣ ва ҷумҳуриявӣ ба таъб расидаанд.

#### **Сохтор ва ҳаҷми диссертатсия.**

Диссертатсия аз муқаддима, чор боб, хулоса ва рӯйхати адабиёт иборат мебошад. Ҳаҷми умумии диссертатсия 141 саҳифаи ҷопӣ мебошад, ки аз он 114 саҳифаи матни ҷопи компютерӣ, 32 расм ва 208 номгӯи феҳрасти адабиёт, ки 23 саҳифаи ҷопиро дар бар мегиранд.

**Калимаҳои калидӣ:** полимер, кристалли моеъ, шиддати механикӣ, мустаҳкамӣ, ИК-спектри инфрасурх, қатра, кашиши яксамта, деформатсия, самтгирӣ, нуфузпазирии диэлектрикӣ, ҳарорат, текстураҳо, микроскопи поляризатсионӣ.

## БОБИ I. ТАҲЛИЛИ АДАБИЁТҲО

### 1.1. Ҳолати кристаллии моеъгии модда

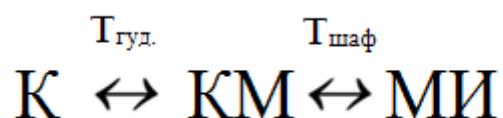
Бо истилоҳи «кристалли моеъ» ҳолати агрегатии моддаҳоро байни ҳолати сахтӣ ё кристаллӣ ва моеи изотропӣ ифода мекунамд. Моддаҳо дар ин ҳолат дорои анизотропияи назарраси баъзе хусусиятҳо буда, ба ҳар ҳол дараҷаи муайяни сайёлиятро низ доранд, ки онро баъзан бо моеи оддӣ ташбеҳ додан мумкин аст [1, 2]. Дар моеъҳои изотропӣ танзими тӯлӣ вучуд надорад ва молекулаҳо чобукии баланд доранд. Дар кристалли сахт бошад, танзими тӯлии ҷойгиршавии молекулаҳо вучуд дорад ва онҳо дар ҳаракати ҳароратӣ иштирок намуда, чун қоида, мавқеи мувозинатии худро нигоҳ медоранд. Дар ҳолати кристалли моеъгӣ моддаҳо тибқи хусусияти реологӣ ба моеъҳо шабоҳат доранд – онҳо сайёланд, қатра ташаккул медиҳанд, шакли зарфи ба он рехта шударо ишғол мекунамд. Ҳамзамон, онҳо чун кристалли сахт дорои хусусияти анизотропии оптикӣ, электрӣ, магнитӣ, механикӣ ва ғайра мебошанд, ки аз натиҷаи мавҷудияти танзимои муайян дар ҷойгиршавии молекулаҳо дарак медиҳад [2].

Аввалин мушоҳидаҳо оид ба ҳолати кристалли моеъ ё мезоморфӣ дар интиҳои асри 19 аз ҷониби Рейнитсер [3] ва Отто Леман [4] гузаронида шуда буданд. Алҳол чандин ҳазор пайвастагиҳои органикии хусусияти кристаллҳои моеъ дошта маълум аст [2, 5]. Шарти зарурии зухуроти мезоморфизм - анизотропияи геометрии назарраси молекулаҳо мебошад, ки одатан бояд дароз ва нисбатан борик бошанд. Вобаста ба нозуқиҳои геометрии молекулаҳо, система метавонад то ба моеи изотропӣ табдил ёфтанд аз як ё якчанд мезофаза гузарад. Гузариш ба ин ҳолати мобайнӣ метавонад дар натиҷаи равандҳои соф ҳароратӣ (мезоморфизми термотропӣ) ё худ бо таъсири ҳалкунамдаҳо (мезоморфизми лиотропӣ) сурат гирад [6-9].

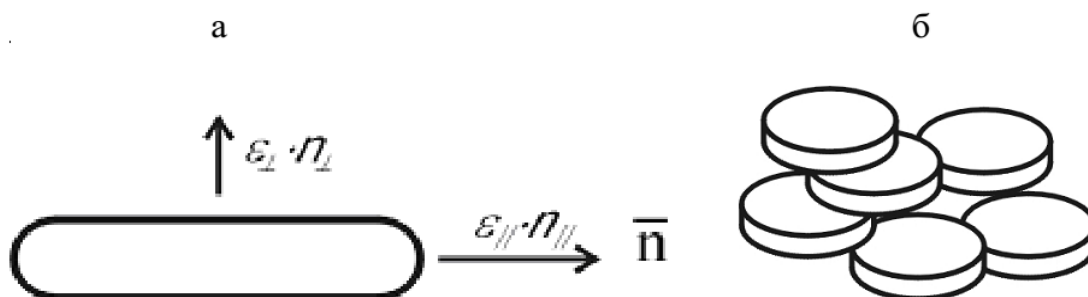
Ҳолати кристалли моеъгӣ хоси бисёр пайвастагиҳои органикӣ аст, ки молекулаҳои онҳо анизометрӣ буда, мавҷудияти тартиботро дар

ҷойгиршавии онҳо муайян мекунад. Ду гурӯҳи асосии кристалли моеъ (КМ) вучуд дорад: термотропӣ ва лиотропӣ.

Кристаллҳои моеи термотропӣ дар ҳудуди ҳароратҳои муайян вучуд доранд. Гузаришҳои фазавӣ дар ин моддаҳо ҳангоми тағирёбии ҳарорат ба амал меоянд. Кристалли саҳт (К) дар нуқтаи гудозиши  $T_{гуд}$  ба фазаи кристаллии моеъ мегузарад. Гармкунии минбаъда боиси гузаштан ба моеи изотропӣ (МИ) дар ҳарорати шаффофияти  $T_{шаф}$  мегардад. Нақшаи маъмулии гузариши фазавӣ чунин шакл дорад:



Асосан дар оптикаи амалӣ кристаллҳои моеи навъи термотропӣ истифода мешаванд ва бештар ду шакли зерин тавачҷӯҳи амалӣ доранд. Онҳо ё шакли дароз дошта каламитик номгузорӣ шудаанд ва ё шакли дискмонанд доранд, ки онҳоро дискотикҳо номидаанд (расми 1.1.1).



Расми 1.1.1. Тарҳи молекулаи дарозрӯяи кристалли моеъ: а) каламитикӣ, б) дискотикӣ:  $\bar{n}$  – самти бартаридоштаи тири дарози оптикӣ молекула,  $\epsilon$  – нуфузпазирии диэлектрикӣ,  $n_{\parallel, \perp}$  – нишондоди шикасти рӯшноии кристалли моеъ [6].

Дар каламитикҳо ҳангоми гардиши молекулаҳо дар атрофи меҳвари дарози оптикӣ цилиндр бо таносуби нисбатан калони баландӣ бар диаметр ба вучуд меояд.

Кристаллҳои моеи навъи лиотропӣ танҳо дар маҳлулҳо, яъне ҳангоми концентратсияҳо, ҳароратҳо ва фишорҳои муайян мезофазаро ташкил медиҳанд. Онҳо бештар аз моддаҳои фаъоли сатҳӣ (молекулаҳои амфибилӣ) иборат мебошанд. Дар ин замина қайд кардан бамаврид аст, ки кристаллҳои моеи навъи лиотропӣ ё мезофазаҳо ҳангоми ҳалшавии маводҳои сатҳии фаъол (МСФ) дар об ва ё дигар ҳалкунандаҳо ташаккул меёбанд.

## **1.2.Таснифоти кристаллҳои моеъ**

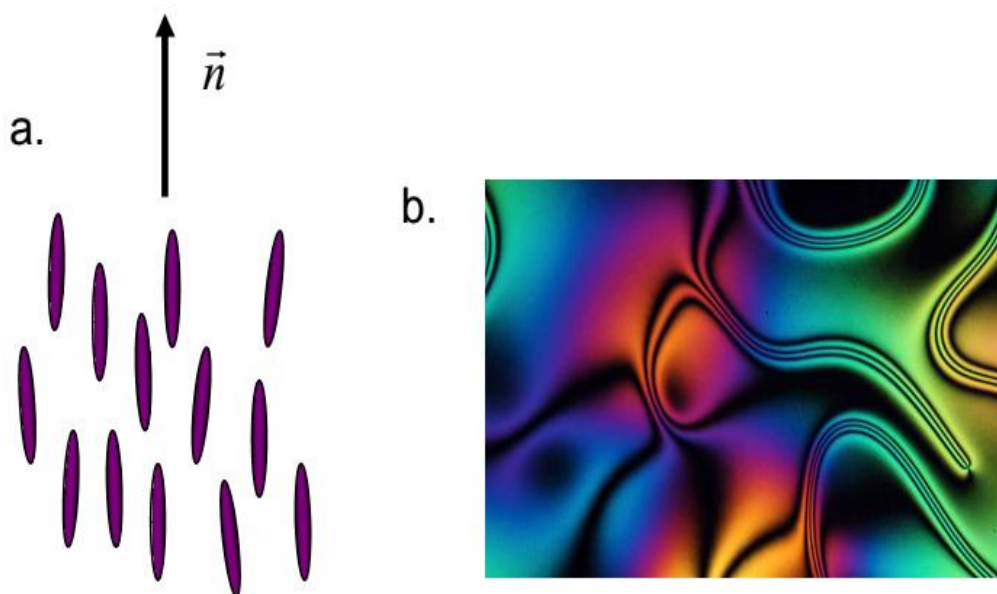
Таснифоти кристаллҳои моеъ аз ҷониби кристаллографи олмонӣ О. Леман пешниҳод шуда, баъдан он аз тарафи М.Г.Фридел такмил дода шудааст [11-13]. Тибқи ин таснифот кристаллҳои моеъ ба се намуди асосӣ ҷудо карда мешаванд - нематикӣ, холестерикӣ ва смектикӣ. Кристаллҳои моеи ба ин гурӯҳҳо мансуб дошта бо хусусиятҳои физикӣ, пеш аз ҳама оптикӣ, фарқ мекунад. Ин фарқият аз сохтори онҳо бармеояд.

Кристалли моеи нематикӣ (КМН) дараҷаи баланди тартиби самтгирии дарозмуддат дорад, аммо тартиби транслясионии дарозмуддат надорад. Ҳамин тавр, дар мувофиқа бо хосиятҳои моеи изотропӣ, тирӣ оптикӣ дарози молекулаҳои онҳо тақрибан нисбат ба ҳамдигар самтгирии параллелиро доро мебошанд.

Самтгирии афзалиятнок дар муҳит одатан аз як нуқта то нуқтаи дигар фарқ мекунад, аммо агар самт дар намуна якхела бошад, пас, аз ҷиҳати оптикӣ якмеҳварӣ буда, шиканиши дугунаи мусбӣ ва қавӣ дорад. Сайёлияти мезофаза бо осонии лағжиши молекулаҳо нисбат ба ҳамдигар, бо нигоҳ доштани самтнокшавии параллелӣ, маънидод карда мешавад. Молекулаҳо дар атрофи меҳвари дарози худ (директор) озодона ҷарх мезананд, меҳварҳои симметрия бошад, бо меҳвари афзалиятноки сохтор мувофиқат мекунад. Гарчанде ки молекулаҳо аз рӯи самт мувофиқанд, онҳо аз ҷиҳати мавқеъ тасодуфӣ мебошанд ё марказҳои вазнинашон ба монанди моеи оддӣ ба таври хаотикӣ тақсим шудаанд [9, 11, 13].



Дар кори [16] бо усули пароканиши нурҳои рентгенӣ, муайян карда шуд, ки як қатор нематикҳо аз кластерҳои иборатанд, ки тақрибан  $10^2$  молекула дошта, ба гурӯҳҳои ба истилоҳ сиботаксикӣ мансубанд ва ин гурӯҳҳо бо қабатҳо печонида шудаанд.



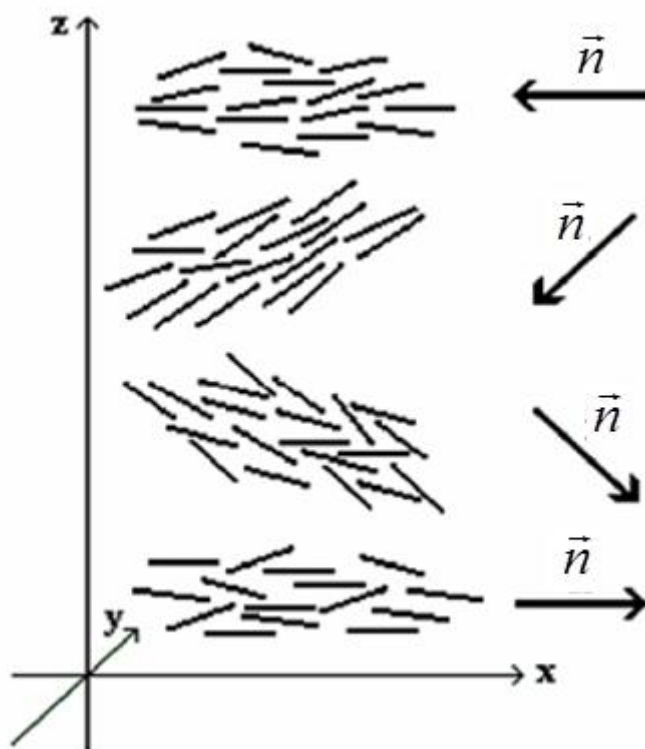
Расми 1.2.1 Тарҳи самтгирии молекулавӣ дар фазаи нематикӣ (а) ва шлирен-текстураи нематикӣ (б) [14]

Дар нематикӣ оддӣ бошад, чунин гурӯҳҳои сиботаксикӣ, агар вуҷуд дошта бошанд, ончунон ҳам хурданд, ки онҳоро бо усули пароканиши рентгенӣ мушоҳида кардан мумкин нест.

Ҳар як навъи кристалли моеъ текстураи ба худ хосро доро мебошад, ба шарте, ки ба ин маводҳои самтгирӣ омилҳои беруна таъсир накунад. Барои кристалли моеи нематик, ин пеш аз ҳама текстураи шлирен аст [9-14] (расми 1.2.1, б): ин тасвир бо истифода аз нури поляризатор ҳосил карда шудааст. Хатҳои торик ҳангоми чархиши намуна ҳаракат мекунад ва ҷойҳоеро нишон медиҳанд, ки директор бо самти поляризатор ва анализатор мувофиқат мекунад. Дар натиҷа, дар баъзе қитъаҳо директор дилхоҳ, вале якҷинса самтнок мешавад. Ҷойҳои, ки рахҳои сиёҳ ба ҳам пайваст шудаанд, нуқсонҳои хатӣ мебошанд, ки ба ҳамвории намуна перпендикуляр равона гардидаанд.

Мезофазаи холестерикӣ низ як навъи кристалли моеи нематикӣ мебошад, фақат фарқият дар он, ки вай аз молекулаҳои оптикӣ фаъол иборат аст. Дар натиҷа сохтораш дорои меҳвари спиралӣ симметрӣ аст, ки ба ҳамвори самтгирии афзалиятноки молекулаҳо перпендикуляр равона аст (расми 1.2.2). Молекулаҳои оптикӣ ҷомеаҳои ратсемикӣ надоранд, спиралӣ фазоӣ бо қадами беохир калонро ташкил медиҳанд, ки ба нематикӣ ҳақиқӣ мувофиқат мекунад. Аз ҷиҳати термодинамикӣ, холестерик ба нематик хеле монанд аст, зеро энергияи ҷархиш танҳо як қисми хурди энергияи умумӣ ( $\sim 10^{-5}$ ) ташкил медиҳад, ки бо бастабандии параллелии молекулаҳо алоқаманд аст [14-18].

Айёнияти беҳтарини чунин монандӣ – факт нисбати он ки иловакунии миқдори ками холестерин [12, 13] ҷамъатан як моддаи фаъоли оптикӣ ғайримезоморфӣ [20, 21] ба ҷомеагии нематик боиси пайдошавии конфигуратсияи спиралӣ мегардад.



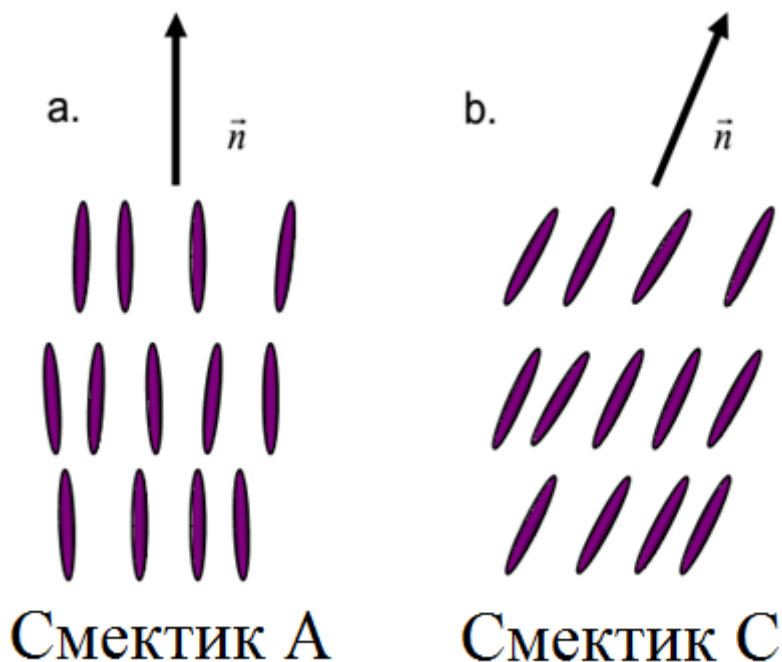
Расми 1.2.2. Тарҳи фазаи кристалли моеи навъи холестерик

Бастабандии спиралӣ молекулаҳо дар ин мезофаза сабаби асосии хусусиятҳои беназири оптикӣ он, яъне инъикоси селективӣ рӯшноии

сиркулятсионӣ поляризацияшуда ва фаълнокии оптикӣ мегардад, ки арзишаш нисбат ба моддаҳои оддии оптики фаъоли маъмул ҳазорҳо маротиба зиёд аст [8].

Кристалли моеи навъи смектик (аз калимаи юнонии «смега» - собун) тибқи сохтораш ба фазаи ҷисми сахт наздик буда, дар онҳо ба ғайр аз бастабандиҳои самтгирӣ, бастабандиҳои қабатӣ низ мушоҳида карда мешаванд.

Хусусияти хоси кристалли моеи смектик, ин қабати ҳубобии собунмонанди он мебошад. Дар он сатҳи берунӣ ва дарунии ҳубобчаҳо, ки дар байни онҳо об мавҷуд аст, қабатҳои смектиро ташкил медиҳанд. Ҳамтаъсири мутақобилаи молекулаҳои собун, дар қабатҳои сатҳӣ, бандиши сатҳии барои устувори ҳубобчаҳо заруриро фароҳам месозад.



Расми. 1.2.3. Тартиби ҷойгиршавии молекулаи кристалли моеи смектикӣ

Дар кристаллҳои моеи смектикӣ намудҳои гуногуни бастабандии молекулаҳо, яъне полиморфизми смектикӣ имконпазиранд [19, 23]. Дар смектики навъи А меҳварҳои дарози оптикӣ молекулаҳо нисбат ба қабатҳои смектики перпендикуляр самтнок шудаанд. Смектики А мисли нематикҳо, аз ҷиҳати оптикӣ якмеҳвара буда, директори  $n$  бо тири оптикӣ ҳамсамт аст. Индикатрисаи оптикӣ смектики А ба индикатрисаи нематик монанд аст [21-23].

### 1.3. Хосиятҳои физикии кристалли моеъ

Сохтори химиявии кристаллҳои моеъ, дараҷаи тартибнокии молекулаҳо дар умум хусусиятҳои физикӣ, ба мисли оптикӣ, электрӣ, сайёлию часпакӣ ва ғайраро муайян мекунад. Дар ин қисм чунин хосиятҳои физикавии кристаллҳои моеъ, ба монанди оптикӣ, электрӣ, чандирӣ ва часпакии кристаллҳои моеъ муҳокима карда мешаванд. Зеро онҳо барои гузаронидани тадқиқот оид ба омӯзиши хусусиятҳои динамикии кристаллҳои моеъ параметрҳои асосӣ ба ҳисоб мераванд [6, 7].

**Хосиятҳои оптикӣ.** Дар кристаллҳои моеъ, ба шарофати хосияти анизотропӣ доштанишон, ҳодисаи шикасти дугунаи оптикӣ ҷой дорад [24-28]. Шикасти дугуна падидаест, ки дар он суръати рӯшноии аз як муҳити поляризатсионӣ гузашта, нисбат ба суръати рӯшноие, ки айнан аз ҳамин муҳит, лекин поляризатсияш дигар буда гузашта, ба кулӣ фарқ мекунад. Нишондоди шикасти рӯшноӣ  $n$  - таносуби байни суръати рӯшноӣ дар вакуум ва суръати рӯшноӣ дар муҳити атроф аст:

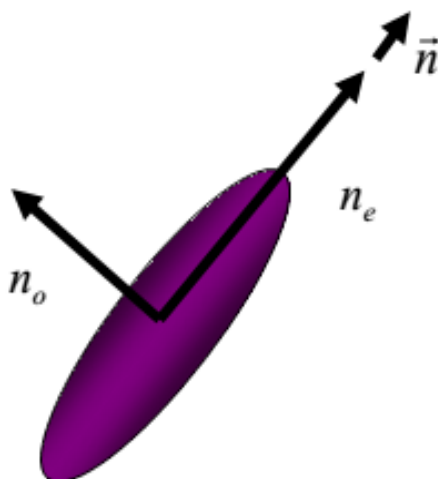
$$n = \frac{c}{v} . \quad (1.3.1)$$

Бинобар ин, вақте ки рӯшноӣ аз муҳити кристалли моеъгӣ мегузарад, нишондоди шикасти рӯшноии нисбат ба директор параллел поляризатсия шуда, бо бузургии  $n_e$  ишора карда шуда, мутаносибан нишондоди шикасти рӯшноии ғайриоддӣ номида мешавад. Нишондоди шикасти рӯшноии оддӣ  $n_o$  натиҷаи шикасти рӯшноист, ки нисбат ба директори кристалли моеъ перпендикуляр поляризатсия шудааст (расми 1.3.1). Шикасти дугунаи мавод – ин фарқияти байни ду нишондодҳои шикаст мебошад [26, 30-32]:

$$\Delta n = n_e - n_o . \quad (1.3.2)$$

Агар ду рӯшноии поляризатсия шуда бо суръатҳои гуногун аз кристалли моеъ гузарад, пас, фарқи фазаҳо байни ин ду мавҷҳои рӯшноӣ ба вучуд меояд, ки онро сустшавии фазавӣ меноманд [26]:

$$\Gamma = \frac{2\pi}{\lambda} \Delta n d . \quad (1.3.3)$$



Расми 1.3.1 Тарҳи молекулаи кристалли моеъ ва нишондоди шикасти  
рӯшноии он

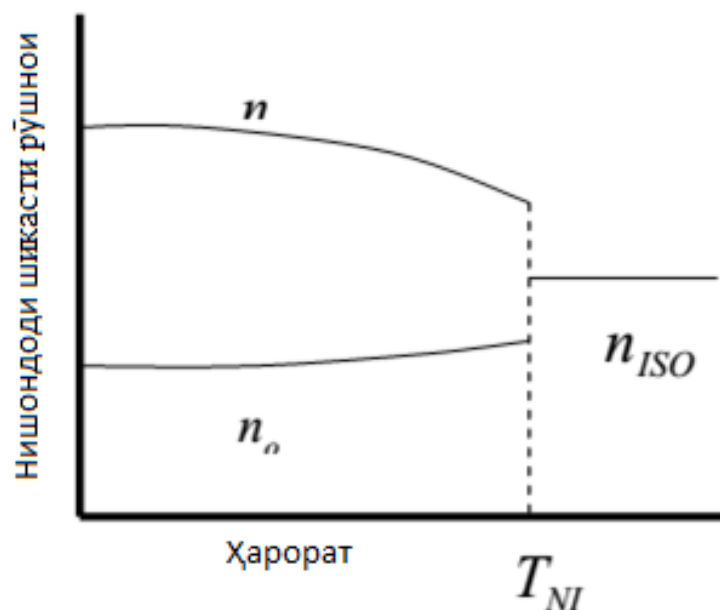
Сустшавии фазавӣ дар маводҳое, ки шикасти дугунаи калон доранд ва ё маводе, ки ғафсиаш калон аст, нисбатан возеҳ мушоҳида мегардад.

Дар кристаллҳои моеъ параметри шикасти дугуна аз ҳарорат вобаста аст [24, 26]. Ҳангоми гарм кардани кристалли моеъ, шиканиши дугунаи рӯшноӣ, то лаҳзаи ба фазаи изотропӣ расидан, доимо кам мешавад. Баъди ин лаҳза танҳо нишондоди шикасти моеи изотропӣ боқӣ мемонад (расми 1.3.2).

Ҳодисаи оптикӣ, ки бештар дар кристалли моеъ рӯх медиҳад, пароканиши рӯшноӣ ба ҳисоб меравад.

Пароканиши рӯшноӣ бо ду роҳ ба амал меояд: инъикос аз сатҳи ноҳамвор, ки дар он самтҳои рӯшноии парешхӯрда ба таври тасодуфӣ инъикос меёбанд ва аз ҳисоби ғайриякҷинсагии таркиби маводҳо [25, 26].

Барои кристаллҳои моеи анизотропӣ пароканиши рӯшноӣ ҳодисаи маъмул аст, чунки мавод дар ҳолате қарор дорад, ки директор дар тамоми ҳаҷм тағйир меёбад [26-29]. Вақте, ки рӯшноӣ тавассути кристаллҳои моеъ паҳн мешавад, молекулаҳои кристаллӣ моеъро маҷбур мекунад, то ки бо басомади оптикӣ таҳти кунҷҳои тасодуфӣ лаппанд.



Расми. 1.3.2 Графики вобастагии нишондоди шикасти рӯшноӣ барои кристалли моеи нематик аз ҳарорат

Аз ин рӯ, чунин падида кристалли моеъро тира мекунад. Интенсивнокии нури пароканда ( $I$ )-ро тавассути аз ифодаи зерин муайян кардан мумкин аст:

$$I = I_0 \frac{F(\theta, \varphi)}{k^2 r^2}. \quad (1.3.4)$$

Дар ин баробарӣ,  $I_0$ - интенсивнокии рӯшноии афтанда;  $F(\theta, \varphi)$ - функцияи самти рӯшноӣ дар кунҷҳои кутбӣ ва азимуталӣ;  $k$  - адади мавҷӣ ва  $r$  - масофаи байни нуқтаи ибтидоӣ ва нуқтаи мушоҳидавиро ифода мекунанд. Пароканиши рӯшноӣ аз якҷанд омилҳо ба монанди шакл ва андозаҳои ғайриҷинсагӣ, фарқияти байни нишондиҳандаҳои шикасти компонентаҳои дар маводи таркибӣ мавҷуд буда (яъне кристалли моеъ ва полимер) ва ғафсии пардаҳои маводи васлқунанда вобаста аст [32].

**Хосияти электрӣ.** Кристалли моеъ дорои хусусияти анизотропияи диэлектрикӣ мебошад:  $\Delta\varepsilon = \varepsilon_{||} - \varepsilon_{\perp}$ , ки ин ҷо  $\varepsilon_{||}$  - нуфузпазирии диэлектрикӣ қад-қад самти директор ва  $\varepsilon_{\perp}$  - ҳангоми ба директор перпендикуляр будан аст. Анизотропияи диэлектрикӣ имконияти идоракунии самтгирии кристаллҳои моеъро бо истифода аз майдони электрии беруна фароҳам месозад. Ҳангоми

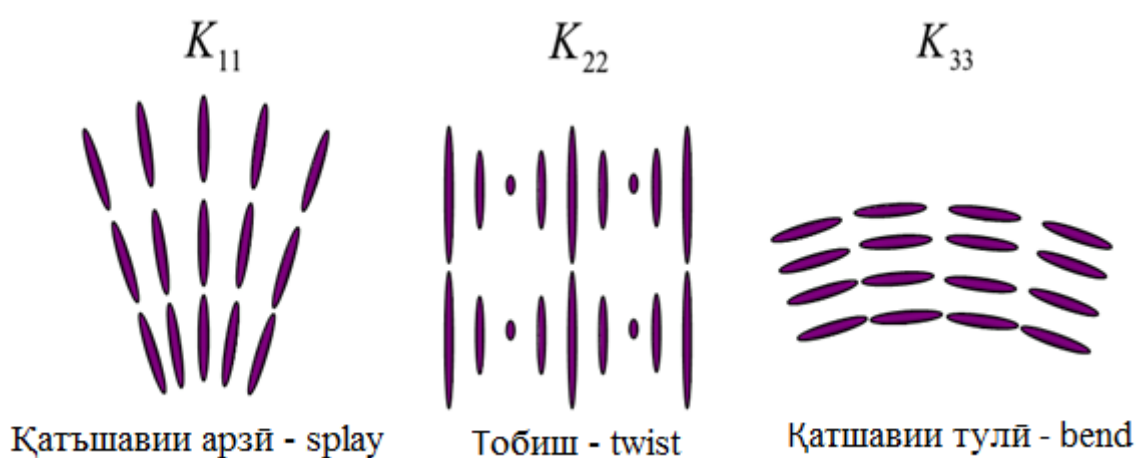
$\Delta\varepsilon > 0$  директор қад-қадиди майдони  $\vec{E}$  нигаронида шудааст, ҳангоми  $\Delta\varepsilon < 0$  бошад, самтгирии директор ба майдони электрӣ перпендикуляр буда, бо минимуми энергияи озоди ҳаҷми кристалли моеъ муайян карда мешавад [1, 6, 33].

Қимат ва аломати  $\Delta\varepsilon$  хусусияти молекулаҳои кристалли моеъро дар майдони электрӣ тавсиф дода, аз сохтори молекулавӣ, ҳарорат ва басомади майдони электрӣ вобаста мебошад [6, 33]. Қимати манфии  $\Delta\varepsilon$  аз мавҷудияти моментҳои диполӣ дар молекулаҳои кристалли моеъ, ки таҳти кунҷҳои калон ба тири оптикӣ молекулаҳо равона шудааст, шаҳодат медиҳад [1, 34, 35]. Қимати мусбаташ бошад, аз мавҷудияти моментҳои диполие, ки нисбат ба қад-қадиди тири оптикӣ бештар поляризатор шавандаи молекулаҳо маълумот медиҳад. Бузургиҳои  $\varepsilon_{||}$  ва  $\varepsilon_{\perp}$  бо усули ғунҷоишӣ то саҳеҳии на кам аз 2% дар соҳаи басомадҳои майдони электрӣ аз 1 кГц то 1,5 МГц чен карда мешаванд. Анизотропияи диэлектрикиро тибқи шиддати ҳудудии эффекти Фредерикс, дар майдони якҷинса, муайян кардан мумкин аст [1, 22, 36]. Дар ин соҳаи басомадҳои нишон дода шуда бузургиҳои  $\varepsilon_{||}$  ва  $\varepsilon_{\perp}$  боиси рӯй додани ҳодисаи дисперсия мегарданд, ҳамчунин, барои қимати  $\varepsilon_{||}$  дисперсия дар басомадҳои калонтар иҷро мешавад. Дар қорҳои [34-40] механизмҳои молекулавие, ки барои дисперсияи  $\varepsilon_{||}$  ва  $\varepsilon_{\perp}$  дар кристалли моеъ мансубанд муфассал таҳлил ва баррасӣ гардидаанд. Дар омӯзиши хосиятҳои оптикӣ ва диэлектрикӣ як қатор композитҳои кристалли моеъгии гуногуни муосир, хизмати коллективи физикон таҳти роҳбарии Е.И. Рюмсев басо калон мебошад [6, 36-38].

**Хусусиятҳои эластикӣ (чандирӣ).** Хусусиятҳои эластикӣ кристаллҳои моеъ рафтори онҳоро дар муҳити беруна муайян мекунад. Аз хусусияти чандирӣ чунин нишондодҳо, ба монанди идоракунии интенсивноқӣ, тезии қачии контрастнокӣ, инчунин вақти ҳисқунӣ ва ғайра вобаста мебошанд [6, 9].

Фарқи асосии байни деформатсияи кристалли моеъ ва қисмҳои саҳт дар он зоҳир мегардад, ки дар фарқият аз қисми саҳт, тағйирёбии масофаи байни молекулаҳо дар кристаллҳои моеъ (кашиши ғайриякҷинса ё фишурдан) энергияи чандирро тағйир намедиҳад. Таъсири деформатсияи фишоришу ёзиш хело кам

буда, деформатсияи лағжишӣ калон, боиси сайёлият (шориш) мегардад. Бинобар ин, дар кристалли моеъ деформатсияи қатъкунии майдони директор нисбатан бештар зоҳир мешавад. Баъди қатъ намудани таъсири майдони беруна директор зери таъсири кувваҳои чандирӣ ба ҳолати мувозинатии ибтидоӣ бармегардад [9, 41, 42]. Хусусияти дигари кристаллҳои моеъ - ин чандирии онҳо мебошад, ки ба тағйирёбии локалии (мавқеии) самтгирии директор алоқаманд мебошад. Се навъи асосии деформатсия дар кристалли моеъ мавҷуд аст (расми 1.3.3): Splay-деформатсия ё S-эффект (қатъшавии арзӣ); Twist-деформатсия ё T-эффект (тобиш); Bend-деформатсия ё B-эффект (қатъшавии тулӣ) [9, 43].



Расми 1.3.3. Намудҳои асосии деформатсия дар кристалли моеъ

Он гоҳ, зичии энергияи озоди кристалли моеъро метавон чунин навишт:

$$F = F_o + F_d, \quad (1.3.5)$$

дар ин ҷо  $F_o$  - зичии энергияи озоди қабати деформатсия нашудаи кристалли моеъ;

$F_d$  - зичии энергияи озоди, ки ба деформатсияи қатъшавӣ алоқаманд аст.

Бо параметри мазкур сохтори кристалли моеъ муайян карда мешавад. Барои кристалли моеи навъи нематик он намуди зеринро дорад:

$$F = \frac{1}{2} [K_{11}(\text{div } \vec{n})^2 + K_{22}(\vec{n} \times \text{rot } \vec{n})^2 + K_{33}(\vec{n} \times \text{rot } \vec{n})^2], \quad (1.3.6)$$



дар ин чо  $K_{11}$ ,  $K_{22}$ ,  $K_{33}$ - мувофиқан модулҳои чандирӣ барои деформатсияи қатшавии арзӣ, қаддӣ ва тобиш дар нуқтаи дилҳоҳ аст.

Одатан, ҳангоми омӯзиши таъсири мутақобилаи кристалли моеъ бо сатҳ, ҳолатҳои таҳлил карда мешаванд, ки деформатсияи чандирии директор ҳамвор ё радиалӣ-симметрии мешавад, пас, энергияи тобиши чандириро ба инобат нагирифта мумкин аст. Ҳангоми ҳалли масъалаҳои оддӣ, одатан дар қадами аввал аз бузургии якто доимӣ дошта истифода мешавад:  $K_{11} = K_{22} = K_{33} = K$ . Он гоҳ баробарии (1.3.6) намуди зерин мегирад:

$$F_d = \frac{1}{2} K [(div \vec{n})^2 + (rot \vec{n})^2]. \quad (1.3.7)$$

Қимати хоси модулҳо ба  $K_{11}=K_{22}=K_{33} = 1 \cdot 10^{-6}$  дина баробар аст. Камшавии модули чандирии кристалли моеи нематик боиси афзуншавии ҳиссиётнокии қабат ба таъсири беруна мегардад. Маҳз, тағйироти баланди самти майдони локалии директор таҳти таъсири омилҳои берунаи суст, ки ба тағйирёбии қиддии хосиятҳои оптикӣ қабати кристалли моеи нематик меорад, сабаби асосии истифодаи самараноки композитҳои кристалли моеъгӣ дар эффектҳои оптикӣ мебошад [44, 45].

#### **1.4. Эффектҳои электрооптикӣ дар кристалли моеи нематик**

Таҷқиқотҳои нахуст оид ба таъсири майдони электрӣ ба фурӯбурди рӯшноӣ ва шикасти дугунаи рӯшноии кристалли моеи нематикӣ ҳанӯз соли 1918 гузаронида шуда буданд. Дар қорҳои минбаъдаи солҳои 20-ум ва 30-юм диққати асосӣ ба механизми самтгирии кристалли моеи нематик (КМН) дар майдони электрӣ ва асосноккунии ин падида дар заминаи назарияи алҳол аҳамияташро гум кардаи «селаҳои диполӣ», равона шудааст. Он солҳо ҳанӯз электродҳои оптикӣ шаффоф ихтироъ нашуда буданд, аз ин сабаб гузаронидани таҷрибаҳои электрооптикӣ бо қабатҳои тунуки КМН душворӣ ба миён меовард. Таҷрибаҳои нисбатан саҳеҳ ва бозътимод дар ин самт аз ҷониби Фредерикс ва Светков бо истифода аз рӯшноии поляризиатсияшуда ва

электродҳои тӯрии ноқилӣ гузаронида шудаанд [46-48]. Мутаассифона, дар қорҳои солҳои 60-ум ва 70-ум асари ХХ хеле кам ёдовар шудаанд, гарчанде ки дар онҳо бисёр ақидаҳои ин ду олими бузург, ки асоси назария ва татбиқи эффектҳои электрооптико ташкил медиҳанд, баён гардидаанд. Чунончӣ, дар қорҳои [1, 46, 47], ҳаракати босуръати КМН-и навъи n-азоксианизол дар майдонҳои пастбасомад, ки боиси пароканиши саҳти рӯшноӣ мегардад, шарҳи илмии худро дарёфтааст, яъне воқеан «эффекти пароканиши динамикӣ», ки соли 1968 кашф шудааст, тавсиф дода мешавад. Илова бар ин, дар [48], нишон дода шудааст, ки чунин басомади критикӣ мавҷуд аст, ки аз он боло ҳаракати КМН нопадид шуда, ҳамзамон шиддати ҳудудӣ аз ғафсии қабати кристаллии моеъ новобаста мешавад. Ҳамчунин, дар [48], ки нақши заряди фазоӣ ва таъсири самтгирии сели моеъ дар механизми самтгирии муқаррарии КМН бо анизотропияи манфии диэлектрикӣ қайд шудааст. Бори нахуст меъёри муҳими ноустувории электрогидродинамикии КМН , яъне  $\Delta\epsilon < 0$  пешгӯӣ шудааст, ки он бо усули таҷрибавӣ тибқи тағйир додани бузургӣ ва аломати  $\Delta\epsilon$  аз ҳисоби воридсозии кислотаи метоксикорӣ ба n-азоксианизол исбот шудааст [46-48].

Асоси ҳамаи тадқиқотҳои таҷрибавии электрооптикаи кристаллҳои моеъ (нематик, холестерик, смектик)-ро ячейка бо қабати тунуки (ғафсиаш  $d = 5-100$  мкм) бо ду электроди шаффоф ташкил медиҳад. Дар байни электродҳо ҷавфи капиллярӣ мавҷуд аст, ки тавассути қабатҳои диэлектрикӣ идора карда мешавад. Ба электродҳо шиддати доимӣ, синусоидалӣ ё импульсиро мегузоранд. Рӯшноӣ аз «сэндвич» қад-қади тири z ба электродҳо перпендикуляр равона карда мешавад. Барои омӯзиши деформатсияҳои КМН таҳти майдони электрӣ рӯшноии поляризатсионӣ, дар баъзе ҳолатҳо монохроматӣ истифода мешавад. Вобаста ба аломати анизотропияи диэлектрикӣ ( $\Delta\epsilon$ ) ва самти ибтидоии молекулаҳои КМН се намуди деформатсияро мушоҳида кардан мумкин аст [48].

Навъи деформатсияи кристалли моеъ дар зери таъсири майдони электрӣ бо шартҳои ҳудудӣ, яъне бо самтгирии молекулаҳои кристалли моеъ (КМ) дар сатҳи электрод ва қутби анизотропияи  $\Delta\epsilon$  муайян карда мешавад [48, 49].

Тавассути технологияи муосир айни замон қариб ҳама гуна самтдигаркуниҳои молекулаҳои кристалли моеъ бо истифода аз таҳлавҳаҳо ба даст оварда мешаванд.

Хусусиятҳои анизотропии электрӣ ва оптикӣ, гуногунрангии эффектҳои оптикиро дар кристаллҳои моеъ, муайян мекунад. Яке аз эффектҳои муҳимтарине, ки лағжиши тартибот дар кристалли моеъ зери таъсири майдонҳои магнитӣ ё электрӣ сабаб мегардад, гузариши Фредерикс ном дорад. Вай деформатсияшавии сохтори якҷинсаи қабати кристалли моеъро таҳти таъсири майдонҳои қуввагӣ шарҳ медиҳад [9, 47, 54]. Таҳти мафҳуми “деформатсия”-и кристалли моеъ тағйирёбии мавқеи директорро дар фазо фаҳмида, тибқи [47–54] намудҳои зерини онро фарқ мекунанд.

**S-эффект** - барои молекулаҳои КМ, ки ба сатҳи таҳлавҳа параллел ҷойгиранд, бо анизотропияи мусбати диэлектрикӣ  $\Delta\epsilon > 0$  мушоҳида мешавад. Ҳангоми таъсири майдони электрӣ, қабати кристалли моеъ ба деформатсияи арзӣ гирифта шуда, шикасти дугунаи қабати кристалли моеи нематик тағйир меёбад. Дар натиҷа рӯшноие, ки аз ячейка мегузарад, модулятсияи поляризатсионӣ ё фазавиро аз сар мегузаронад [47, 52, 54].

**Эффекти В** - ба эффекти S монандӣ дорад, лекин танҳо барои молекулаҳои КМ, ки ба таври гомеотропӣ, яъне ба сатҳи таҳлавҳа перпендикуляр равона шуда, анизотропияи диэлектрикиаш манфӣ аст, ( $\Delta\epsilon < 0$ ), мушоҳида мешавад. Бо таъсири майдони беруна, молекулаҳо самтнок шуда ҳаракат мекунанд, то ки ба таври планарӣ ҷойгир шаванд [48, 54].

**T-эффект** дар ячейкаҳои анизотропияи диэлектрикиаш мусбат мушоҳида мешавад, яъне дар ҳолате, ки самтгирии молекулаҳои КМ дар таҳлавҳаҳои болоӣ ва поёнӣ бо якдигар мувофиқат накарда, кунҷи  $90^\circ$ -ро ташкил медиҳанд. Онгоҳ, рӯшноии поляризатсия шуда низ ҳангоми аз кристалли моеи байни таҳлавҳаҳо гузаштан, таҳти кунҷи  $90^\circ$  гардиш мекунад. Аз ин рӯ, ячейкаи КМ, ки дар байни поляризаторҳои арзӣ ҷой гирифтааст, рӯшноиро мегузаронад, поляризаторҳои байни якдигар параллел бошад, баръакс, онро хомӯш мекунад. Ҳангоми васл кардани майдони электрӣ чархиши сохтор аз байн меравад, бинобар ин, ячейкаи КМ дар

поляризаторҳои арзӣ рӯшноиро хомӯш карда, дар ҳолати параллелӣ бошад, интиқол медиҳад [47, 54, 55].

Гузариши Фредерикс хусусияти остониро дорад, яъне барои қиматҳои критикии муайян иҷро гардида, деформатсияи структураи якҷинсаи қабати кристалли моеъро таҳти таъсири майдонҳои беруна шарҳ медиҳад. Ин гузариш бо рақобати байни қувваҳои сатҳӣ, ба монанди қувваҳои чандирӣ ва қувваҳои майдони беруна, ба мисли майдони электрӣ, ки кристаллҳои моеъро дар сарҳади қабат самтнок мекунад, [47, 48, 54] маънидод карда мешавад.

Дар ин замина эффектҳои электрооптикии дар КМ мушоҳида шаванда, ки бо тағйирёбии хосиятҳои оптикии КМ якҷинса таҳти таъсири майдони электрӣ идора шаванда алоқаманданд, ба таври кофӣ дар [48, 49, 52, 54] муфассал таҳлил карда шудаанд. Дар натиҷа, дисплейҳои баландсифат дар заминаи қабатҳои якҷинсаи КМ ва дигар таҷҳизотҳои бо шиддати электрӣ идора шаванда сохта шудаанд [9, 52, 53-59].

### **1.5. Сохтори самтдигаркунӣ дар қатраи нематик бо шартҳои худудии гуногун**

Эффекти самтгирӣ дар кристаллҳои моеъ раванди аз сари нав самтнок шудани молекулаҳо таҳти таъсири майдони идорашавандаи электрӣ ва ё магнитиро меноманд, ки аз ҳисоби анизотропияи диэлектрикӣ  $\Delta\epsilon$  (ё диамагнитӣ  $\Delta\chi$ ) боиси тағйирёбии хосиятҳои оптикии кристаллҳои моеъ мегардад. Табиати ин эффектҳо дар он зоҳир мегардад, ки онҳо зери таъсири қувваҳои сусти беруна ба амал меоянд ва хосиятҳои оптикии кристалли моеъро ба таври назаррас тағйир медиҳанд. Хусусияти мазкур истифодаи васеи онҳоро дар системаи мониторҳо, сенсорҳои оптикӣ, коркарди системаи иттилооти оптикӣ, соҳаи оптоэлектроника ва ғайра шарҳ медиҳад [1, 6, 61, 62].

Таҳлили эффектҳои самтгирӣ одатан дар ҳолати ҷой надоштани зарядҳои ҳаҷмии электрӣ ва ҷараёнҳо гузаронида мешаванд, ки имконияти тадқиқи кристалли моеъро ҳамчун диэлектрики идеалӣ фароҳам месозад. Равандҳои мазкур дар [6, 63, 64] муфассал таҳлил карда шудаанд. Эффектҳои самтгирӣ таҳти таъсири майдони магнитӣ бори аввал аз тарафи физики рус

В.К. Фредерикс ва ҳамкорони ӯ [65] мушоҳида карда шуд. Ба онҳо муяссар гардид, ки бар хилофи консепсияи қувваҳои диполии он солҳо маъмул буда, бори аввал табиати қувваҳои самтнок кунанда аз ҳисоби мавҷудияти анизотропияи диамагнитии  $\Delta\chi$  КМН маънидод кунанд.

Ҳамчунин хусусияти ҳудудӣ доштани деформатсияи КМН муқаррар карда шуда, маънидоди илмӣ эффеќти мазкур зери таъсири майдони магнитӣ бо ба инобат гирифтани самтгирии ибтидоии молекулаҳо пешниҳод карда шуд. Дартар, хусусияти ҳудудӣ доштани самтдигаркунии молекулаҳои КМН дар майдони электрӣ бо мавҷуд будани анизотропияи диэлектрикии  $\Delta\epsilon$  шарҳ дода шуд. Эффеќтҳои самтдигаркунӣ, ки дар майдонҳои магнитӣ ва электрӣ аз ҳисоби анизотропияи  $\Delta\epsilon$  ва  $\Delta\chi$ , мушоҳида мешавад, дар адабиёти илмӣ ҷаҳонӣ номи Фредериксро гирифтааст. Саҳми ӯ дар рушди илм оиди КМ дар қорҳои [63–65] баён шудааст.

Маводҳои композитии кристалли моеъгӣ – маҷмӯи қатраҳои кристалли моеъ бо муҳити изотропӣ ихота шуда ҳисоб меёбанд [9, 64, 67-74]. Хусусиятҳои оптикӣ ин гуна маводҳо, пеш аз ҳама, бо сохтори самтгирӣ, ки дар қатраҳои КМ ташаккул ёфтаанд, муайян карда мешаванд, ки онҳоро зери таъсири омилҳои беруна ба осонӣ идора кардан мумкин аст. Масалан, таъсири майдони электрӣ боиси тағйир ёфтани сохтори самтгирии қатраҳо дар кристалли моеъ мегардад, ки он ба хосиятҳои оптикӣ тамоми мавод таъсир мерасонад [64, 75-78]. Инчунин конфигуратсияи директорро дар қатраҳо тавассути рӯшноӣ [77], тағйирёбии ҳарорат [78–82], сели моеъ [83] ё таркиби моеи қатраҳои КМ-ро ихота карда [84, 85] такмил додан мумкин аст.

Сохтори самтнокии қатраҳо аз хосиятҳои кристалли моеъ (доимии чандирӣ), геометрияи қатраҳо (шакл, андоза), шартҳои остонӣ (самтгирии директор дар ҳудуди байнифазаӣ, энергияи бандиш) ва майдони электрӣ ё магнитӣ вобаста аст [86]. То имрӯз қатраҳои кристалли моеи нематикӣ шаклаш сферикӣ ва эллипсоидалӣ бо шартҳои остонии тангенциалӣ ва гомеотропӣ саҳеҳ омӯхта шудаанд. Чунончӣ, ҳангоми бандиши тангенциалӣ дар қатраҳо метавонад сохтори биполярӣ [87], биполярии тобхурда [88, 89],

тороидалӣ [89] ташаккул ёбанд. Дар шартҳои остони гомеотропӣ бошад, дар қатраҳо конфигуратсияи радиалӣ [87] ва ё аксиалӣ [90] пайдо мешаванд. Қатраҳои дорои шартҳои остони коноскопӣ (конусӣ) дошта, ки дар онҳо директор нисбат ба нормал таҳти кунҷи  $0^\circ < \theta^\circ < 90^\circ$  ба сатҳи қатра нигаронида шудааст, комилан камтар омӯхта шудаанд. Чунончӣ, дар қатраҳои сферикӣ, ки дар матритсаи моеъ дисперсия шудаанд, сохтори дорои дуто бучуми радиалӣ ва нуқсони ҳалқавӣ дошта пайдо шаванд. Дар ҳудуди муайяни кунҷҳои майлқунии директории  $\theta^\circ$  бошад, сохтори дорои як ҷуфт бучумҳои радиалӣ-гиперболӣ ва нуқсони нуқтагӣ дар ҳаҷм пайдо шуда метавонад [81]. Шартҳои бандиши конусӣ, метавонад ҳамчун ҳолати мобайнии самтгирии гомеотропӣ ё тангенциалӣ дар натиҷаи таъсири омилҳои беруна ба муҳити атрофи қатраи кристалли моеъро фаро гирифта ташаккул ёбад [85, 91-93]. Дар ин ҳолат тағйирёбии мунтазами сохтори самтгирӣ аз ҳолати радиалӣ ба биполярӣ ба амал меояд. Табдилотҳои сохторӣ бо тағйирёбии хосиятҳои оптикӣ қатраҳо сурат мегирад, ки ба тӯфайли он чунин системаҳоро, масалан, барои сохтани сенсорҳои ҳассос истифода бурдан мумкин аст [94, 95].

Дар қори [68] сохтори қатраҳои кристалли моеъ бо шартҳои остони конусӣ, ки шакли эллипсоидаи фишурда шударо дорад омӯхта шудааст. Чунин геометрияи қатра бештар дар пардаҳои полимерии қатраи кристалли моеъ (ППКМ) дошта маълум мешаванд, ки барои татбиқи амалии маводҳои таркибии КМ имкониятҳои васеъ фароҳам меорад.

Муаллифи [68] нишон додааст, ки истифодаи потенциали оддии сатҳии навъи Рапини бо шартҳои бандиши сатҳии конусӣ дар ҳисобқунии майдони директор боиси гуногунрангии назарраси сохторҳои имконпазир дар қатраҳо мегардад. Ҳангоми майлқунии кунҷи директор нисбат ба нормали сатҳ дар қатраҳои фишурда шуда як қатор конфигуратсияҳои бо навъи нуқсони топологӣ ва нисбат ба ҳамдигар ҷойгиршавии онҳо фарқ қунанда ташаккул меёбад. Таҳлили саҳми энергияҳои чандирӣ ва сатҳӣ дар навъҳои гуногуни сохторҳо нишон дод, ки ҳангоми таносуби энергияи часпакӣ ба сатҳ, радиуси

қатра ва доимии чандирии  $WR/K_{11}=300$  будан, сохторҳои тадқиқшаванда амалан тибқи энергияи озод эквивалент мешаванд. Дар натиҷа, ташаккулёбии ҳамчояи чунин сохторҳо дар як намуна имконпазир мегардад, ки онро мушоҳидаҳои таҷрибавӣ тасдиқ мекунад.

Қаблан, сохтори кристалли моеъ бо ду бучуми гиперболикӣ ва нуқсони нуқтагӣ мушоҳида шуда буд [68]. Устувории сохтор ва мавҷуд набудани нуқсонҳои хаттӣ дар сатҳ бо истифода аз пайдоиши деформатсияи чархиш дар ҳаҷм ба даст оварда мешавад. Сохтор бо конфигуратсияи аксиалӣ-биполярӣ дорой симметрии баланд, пештар дар пардаҳои полимери қатраи кристалли моеъ дошта ва эмулсияҳо мушоҳида шуда буд [81, 96, 99-102]. Сохтори пастсимметрӣ бо бучуми радиалӣ ва нуқсони нуқтагии лағжиш, инчунин структура бо ҷуфти бучумҳои радиалӣ ва нуқсони ҳалқавии лағжидашуда, пештар дар эмулсияҳои қатраҳои нематик дар раванди тағйирдиҳии шартҳои ҳудудӣ аз мӯътадил ба тангенциалӣ ва баръакс мушоҳида шуда буд [68, 81, 85, 91]. Дар ин ҳолат дигаргуншавии мавҷеи нуқсони ҳаҷмӣ ва ё ҳалқавӣ бо дигаргуншавии кунҷи майлқунии директор нисбат ба нормали сатҳи қатра маънидод карда мешавад.

### **1.6. Маводҳои таркибии кристалли моеъгӣ**

Тамоми эффектҳои электрооптикаи кристаллҳои моеъгӣ, ки дар экранҳои иттилоотӣ истифода мешаванд, бевосита дар қабатҳои тунуки кристаллҳои моеи сохтораш муайян кор мекунад. Ташаккули чунин сохтор бо раванди самтгирии молекулаҳои КМ байни ду таҳлави шишагӣ алоқаманд мебошад, ки дар сатҳи дохилии онҳо электродҳои шаффоф, барои идоракунии КМ, ҷойгир карда мешаванд. Талабот ба сифати таҳлави шишагӣ, фосилаи вақти равандҳои самтгирӣ ва герметизатсия на танҳо имкониятҳои экранҳоро маҳдуд менамояд, инчунин технологияи истеҳсоли чунин таҷҳизотҳоро то андозае мураккаб мегардонад [9].

Синфи асосии маводҳои таркибии кристалли моеъгиро пардаҳои полимери кристалли моеъ дошта (ППКМ) ва бо полимер танзим карда шуда (КМПТ) ташкил медиҳад. Кристаллҳои моеи бо полимер танзим карда

шударо аксар вақт кристалли моеи бо тӯри полимерӣ танзим кардашуда ва ё полимери дар кристалли моеъ диспергиронидашуда низ меноманд. Ин композитҳо ба синфи гелҳо мансубанд [6, 103-106].

Кристаллҳои моеи дар полимер диспергиронидашуда, яке аз объектҳои асосии тадқиқотҳои амалӣ ва бунёди ба ҳисоб мераванд [107-111]. Интиқоли пардаҳои полимерии кристалли моеъгӣ (ППКМ) аз ҳолати пароканиш ба ҳолати шаффоф онҳоро барои татбиқ дар дисплейҳо ва дигар таҷҳизотҳои проексионӣ имконпазир мегардонад. Онҳо шакли дарозро дошта, бо тири дарози худ дар матритсаи КМ-гии анизотропӣ самтнок гардида, дар кристалли моеъ ҳал мешаванд. Дар мавриде, ки ҳамвории поляризатсияи рӯшноии афтанда ба тири дарози оптикӣ молекулаҳои рангкунанда параллел аст, рӯшноӣ фуру бурда мешавад. Агар ҳамвории поляризатсияи рӯшноӣ ба тири дарози оптикӣ перпендикуляр бошад, фурубурд ҷой надорад. Дар ҳолати мавҷуд набудани майдони беруна, самтнокшавии молекулаҳои рангкунанда характери тасодуфӣ дошта, бо самтгирии тасодуфии қатраҳо муайян карда мешавад. Чунин сохтор рӯшноии поляризатсия нашударо фуру мебарад. Дар сурати васли майдони беруна, молекулаҳои рангкунанда ба ҳамвории поляризатсияи рӯшноии афтанда перпендикуляр ҷойгир мешаванд ва дар ҳолати идеалӣ фурубурд ба амал намеояд. Сохтори ППКМ бо рангкунандаҳо аз сабаби табиати тасодуфии самтгирии қатраҳо дар сурати мавҷуд набудани майдон, ба поляризаторҳо зарурат надоранд, ки ин нисбат ба дисплейҳои нематикӣ рангкунанда дошта афзалияти калон дорад.

Ба синфи махсуси ППКМ, нематикҳои хиралӣ мансуб аст, ки дар полимери матритсавӣ диспергиронида шудаасд. Пардаҳои ҳосил шуда дар соҳаи васеи ҳарорат возеҳ баланди рангӣ дошта, дар муқоиса бо термоиндикаторҳо дар заминаи кристалли моеи холестерик (КМХ) имкониятҳои калон доранд. Онҳо барои назорати тақсимоти майдони ҳароратӣ дар сатҳи объектҳои тадқиқшаванда истифода мешаванд [112-115].

Дар солҳои охир яке аз объектҳои маъмули тадқиқотӣ пардаҳои полимерии кристалли моеъгии навъи смектикӣ А ва С дошта гардиданд. Қобилияти поляризатсиякунии пардаҳои яқсамта самтгир шуда дар ҳудуди



васеи ҳарорат нигоҳ дошта мешавад. Ин пардаҳо модулятсияи самарабахши афканишотро таъмин мекунанд, вале дар фазаи А баробари баланд шудани ҳарорат модулятсия якбора кам мешавад. Маводи дар заминаи КМС, ки дар полимер дисперсиониди шудааст, ҳосилгардида барои элементҳои оптикӣ вақти гузаришашон то даҳҳо микросонияҳо, ба мисли модуляторҳои нури баландсуръати рӯшноӣ, дисплейҳо ва таҷҳизотҳои идоракунии поляризатсия истифода мешаванд [78, 116].

Такмилдиҳандаи ППКМ маводҳои мебошанд, ки дар натиҷаи тақсимои фазавӣ ҳангоми полимеризатсия, бо фароҳам овардани шароити ғайриҷинса ҳосил шудааст [113-117]. Омехтаи КМ ва мономерҳои фотополяризатсияшаванда дар байни ду таҳлави шишагӣ гузошта мешавад. Барои тезонидани полимеризатсия, ин ячейка бо нури лазерӣ аз ҳарду тараф равшан карда мешавад. Интерференсияи рӯшноӣ дар ғафсии ячейка тақсимои интенсивнокии афканишро ташаккул медиҳад. Дар минтақаҳои интенсивнокии баланд микдори зиёди радикалҳои озод ба вуҷуд меоянд, ки боиси пайдоиши полимер мегардад, КМ бошад, дар байни қабатҳои полимерӣ ҷой мегирад. Ҳамин тавр, пайдарпаии қабатҳои полимерӣ ва КМ ҳосил карда мешавад.

Нишондодҳои оптикӣ кристалли моеъ ва полимер тавре интихоб карда мешаванд, ки нишондоди шикасти кристалли моеъ барои рӯшноии оддӣ  $n_0$  ба нишондоди шикасти рӯшноии полимер  $n_p$  баробар шавад. Ҳангоми ҷой надоштани майдон, кристалли моеъ дорои сохтори самтгирии хаотикӣ буда, сохтори ячейка бошад, соҳиби нишондоди шикасти ба таври даврӣ тағирёбанда мегардад. Агар нури лазерӣ таҳти кунҷи  $\theta$  афтад ва шарти Брэггро қонеъ кунад:

$$\lambda = 2d \cos \theta,$$

пас, инъикос ҷой дорад. Ҳангоми ба пайдарпаии қабатҳо перпендикуляр равона кардани майдон, кристалли моеъ бо  $\Delta \varepsilon > 0$  нисбат ба қабатҳо перпендикуляр самтнок мешавад. Дар ин ҳолат нишондоди шикасти рӯшноии КМ ба нишондоди шикасти полимери матритсавӣ баробар мешавад

ва нури лазерӣ аз ячейка бе ягон мушкилӣ мегузарад. Пардаҳои полимери кристалли моеъ доштаи голографиро дар дисплейҳои инъикоскунанда истифода бурдан мумкин аст [119, 120].

Маводҳои композитии кристалли моеи бо полимер тасбиткардашуда, тавассути тӯри полимерӣ дар қабат ба даст оварда мешаванд [106]. Барои ин маҳлули кристалли моеъ бо иловаи якчанд фоизи мономер (то 10%) омода карда шуда, бо рӯшноии ултрабунафш нурбориш мекунад. Тӯри ҳангоми полимеризатсия пайдо шуда, самтгирии молекулавиро, ки дар зинаи экспозитсия (афканиши ултрабунафш) вучуд дошт, нигоҳ медорад. Самтгирии зарурии молекулаҳоро бевосита дар ҳаҷми мавод, тавассути таъсири майдони электрӣ ё ҳарорат ба даст меоранд.

Самтгирии ҳаҷмии маводҳои кристалли моегӣ нисбат ба самтгирии сатҳӣ самараноктар аст. Ба сифати мономер одатан маводи мезогенӣ бо гурӯҳи саҳти марказӣ, ба мисли сохтори молекулаи КМ истифода мешавад. Тӯри полимери ташаккулёфта барои беҳтар намудани хусусиятҳо, ба монанди шиддати идорашаванда ва зудамалӣ дар муқоиса бо параметрҳои маводҳо барои твист-дисплейҳо пешбинӣ шудааст. Нематикҳои бо полимер тасбит карда шуда дар калидҳои тибқи рӯшноӣ фаъолият кунанда истифода шудаанд [6, 106, 121].

Махсусан кристаллҳои моеи холестерикии (КМХ) бо полимер тасбиткардашуда барои ташаккули китобҳои электронӣ, рӯзномаҳо ва дисплейҳои сабук, ки дар шиддати паст тасвирҳои дурахшон медиханд, васеъ истифода мешаванд [120]. Маводҳои мазкур гарчанде рангҳои хокистариро то андозае таъмин карда натавонанд ҳам, аммо аз сабаби истеъмоли ками энергияи электрӣ ҳангоми кор дар речаи бистабилӣ ҷолиби диққат мебошанд. Хусусияти хоси чунин маводҳои таркибии кристалли моеъ аз қадами спирали холестерикӣ, концентратсияи полимер ва интенсивнокии афканиши ултрабунафш вобаста аст. Азбаски қадами спирал дар соҳаи дарозии мавҷи инфрасурх (ИС) ҷойгир аст, маводи мазкур дар соҳаи биниш шаффоф мебошад. Ҳангоми таъсири майдони электрикӣ, кристалли моеи холестерикӣ ҳаракат мекунад, ки ба структураи конфокалӣ гузарад, дар

холе, ки полимер онро дар самтнокшавии планарӣ нигоҳ доштан мецоҳад. Дар натица сохтори конфокалии полидомени ба амал меояд, ки вай рӯшноиро босуръат пароканда мекунад. Дар ҳолати ибтидоӣ, чунин мавод рӯшноигузаронии баландро соҳиб аст (зиёда аз 90%). Тавассути илова намудани рангкунандаҳои дихроизмӣ (~ 5%) ба чунин маводҳои композитӣ возеҳро зиёд намудан мумкин аст. Яке аз комёбиҳои назаррас - ин синтези кристалли моеи навъи смектики С ва тасбиткунии он бо полимер дар таҳлавҳои эластикӣ ба ҳисоб меравад. Маводи композитии мазкур барои сохтани дисплейҳои чандир ва сабуки зудамалиаш баланд истифода мешавад.

Раванди тасбиткунии кристаллҳои моеи нематикӣ тавассути суспензияҳои нанозаррачаҳои кремний ё кварси пирогенӣ дошта [118-120] ба роҳ монда мешавад. Азбаски зичии ҳаҷмии чунин заррачаҳо кам аст, бинобар ин дисперсияи устуворро бо миқдори 97-99% КМН ба даст меоранд. Нанозарраҳои кремний агрегати  $\equiv Si - O - Si \equiv$  -ро ташаккул медиҳанд, ки шабакаро дар ҳудуди агрегатҳо бо банди  $\equiv Si - OH$  пайдо мекунад. Ин шабака сохтори полидомениро ба вучуд меорад, ки ба таври назаррас рӯшноиро пароканда мекунад. Дар майдони электрӣ кристалли моеи нематикӣ бо  $\Delta\epsilon > 0$  ба таври гомеотропӣ самтнок шуда, мавод шаффоф мегардад. Алоқаи гидрогениро бо таъсири майдони механикӣ бартараф намудан мумкин аст, ки он боиси корношоямии тамоми шабака мегардад. Сипас, гурӯҳҳои  $\equiv Si - OH$  аз нав гурӯҳбандӣ мешаванд, боз пайвастиҳои гидрогенӣ ба вучуд омада, алоқаи навро ба вучуд меоранд. Аммо ин қарат онҳо самтгирии гомеотропии молекулаҳои кристалли моеи нематикро муқаррар мекунад. Баъди қатъи майдони беруна мавод самтгирии гомеотропии худро нигоҳ медорад. Эффеќти хотираи ин маводро барои коркарди дисплейҳои проексионӣ ва затворҳои (даричаи) рӯшноӣ истифода менамоянд.

Барои сохтани маҳдудкунакҳои оптикӣ беинерсионӣ афканишот, ки барои муҳофизати чашм ва қабулкунакҳои рӯшноӣ хассос пешбинӣ шудаанд, системаҳои немато-хиралӣ коркард шуданд, ки ба сифати ғашҳои

фурубарандаи фуллерен  $C_{70}$  ва фталосианинҳо истифода шудааст [121-124]. Бо истифода аз чунин системаҳо имконияти ба даст овардани қиматҳои назарраси камтарини худуди маҳдудноккуниро, ки тақрибан ба  $\sim 10^{-6}$  Ҷ/см<sup>2</sup> баробар аст, пайдо гардид.

Айнан бо ҳамин мақсад як қатор пайвастагиҳои дистирилбензолҳои дорои фурубурди баланди дуфотонии ғайрихаттӣ, ки барои таҷҳизотҳои химоявии биниши кафшерчиён пешбинӣ гардидааст, синтез карда шудаанд. Ҷаҳиши ҳақиқиро айнаи ҳол, аз истифодаи кристаллҳои моеи бо полимер диспергиронида шудаи қатраҳои наноандоза дошта интизор шудан мумкин аст [123]. Ба композитҳои нави КМ дошта инчунин кристаллҳои моеъеро, ки дар ҳаҷмҳои маҳдуд, дар кристаллҳои фотонии планарӣ ва дар гелҳои рангкунанда дошта гузошта шудааст, мансуб медонанд [124].

Навъҳои гуногуни кристаллҳои моеъ (калимитикҳо, дискотикҳо, полимерҳо, сурфактантҳо ва липидҳо) дар базаи қиматҳои Liq. Cryst 4.7 ворид шудаанд. Дар базаи мазкур маълумот дар бораи 85000 сохтор ва зиёда аз 80000 сарчашмаҳо: китобҳо, маҷаллаҳо, патентҳо, рисолаҳо ва маводҳои конфернс сарчамъ шудааст [125]. Барои ҳамаи пайвастагиҳо пайдарҳамии гузариши фазаӣ ва ҳарорати онҳо, инчунин зиёда аз 270 000 параметрҳои физикӣ ворид шудааст. Сохторҳои химиявӣ ҳам дар шакли формулаҳои химиявӣ бо нишон додани ҳалқаҳо, гурӯҳҳои пайвастаҳо ва терминалӣ, инчунин дар шакли бандҳои атомӣ низ дода шудаанд. Ҷамзамон, дар бораи 30 ҳазор пайвастагиҳои нематикӣ, 12 ҳазор пайвастагиҳои хиралӣ ва 4 000 пайвастагиҳои кристалли моеи смектик маълумотҳо дода шудаанд. Маълумотҳои мазкур имкон медиҳанд, ки маводҳои таркибии кристалли моеъгиро барои ҳалли масъалаҳои мушаххас интихоб намоем. Ҷамҷоя намудани пайвастагиҳои гуногун имконият медиҳад, ки маводҳои таркибии кристалли моеъгӣ барои таҷҳизотҳои гуногун, ба мисли индикаторҳои соатҳои дастӣ, экранҳои компютери фардӣ ва телевизорҳо сохта шаванд [6, 9, 120].

Сарфи назар аз муваффақиятҳое, ки дар соҳаи синтези пайвастагиҳои кристалли моеъгӣ ва ташаккули композитҳои гуногун дар заминаи онҳо дастрас шудаанд, омехтаҳои амалан мувофиқ чандон зиёд нестанд.

Мисли пешин, коркарди маводҳои таркибии кристалли моеъ дошта бо часпакии ками фазаи нематикӣ, қиматҳои баланди анизотропияи диэлектрикии мусбӣ, ҳарорати начандон баланди ташаккулёбии фазаи нематикӣ, доираи васеи ҳарорати мавҷудият ва омехташавии хуб бо пайвастагиҳои кристалли моеъгии синфҳои гуногун муаммои таъхирнопазир боқӣ мемонад. Усулҳои синтези пайвастагиҳои мазкур бояд бо дастрас будани реагентҳои ибтидоӣ, ҷой надоштани марҳилаҳои мураккаби технологӣ ва маҳсулнокии баланди маводи ниҳойӣ тавсиф карда шаванд [1, 6, 9, 103]. Ҳаминро низ бояд қайд намуд, ки композитҳои кристалли моеъгӣ ба як соҳаи мустақили маводшиносии муосир табдил ёфтааст [125, 126].

### **1.7. Пардаҳои полимерии кристалли моеи нематик дошта**

Мусаллам аст, ки яке аз маводҳои афзалиятнок барои таҷҳизотҳои оптоэлектронӣ ва сохторҳои фотонӣ-кристаллӣ, пардаҳои полимерии кристалли моеъ дошта ба ҳисоб мераванд. Аз нуқтаи назари умумӣ, тавачҷӯҳ ба маводҳои композитии кристалли моеъгӣ, нисбати гуногунрангии эффеқтҳои физикии системаҳои мазкур ва инчунин имкониятҳои наву ҷолиби истифодаи амалии онҳо зоҳир мегардад [6, 9, 78, 103, 104]. Нақши эффеқтҳои сатҳӣ дар ташаккулёбии хосиятҳои қатраҳои кристалли моеъ басо назаррас аст [104, 128,134].

Дар пардаҳои полимерии кристалли моеъ дошта, қатраҳои кристалли моеъ дар матритсаи полимерӣ диспергиронида шудаанд. Таҳти таъсири майдонҳои электрӣ ва магнити беруна структураи ориентатсионии дохилии қатра дигаргун мегардад. Дар мавриди истифодабарӣ барои ташаккулдиҳии реаксияҳои оптикӣ дар муҳити рӯшноиро парешдиҳанда, барои онҳо поляроиди иловагӣ талаб карда намешавад, ки ин амал нисбат ба истифодаи анъанавии кристаллҳои моеи якҷинса дар муҳити шиканиши дученака афзалияти калонро соҳиб аст. Пардаҳои полимерии бо қатраи кристалли моеъ

диспергиронидашуда, дорой хусусияти чандирӣ, мустаҳкамии механикии баланд, рӯшноигузаронии хуб ва технологияи оддии омодакунии мебошанд.

Алҳол нисбати идоракунии хусусиятҳои электрооптикаи пардаҳои полимерии кристалли моеъ дошта дар муҳити рӯшноиро парешдиҳанда ду усул маълум аст. Усули якум ба эффекти классикии Фредерикс асос ёфтааст [65, 81, 86, 137]. Моҳияти ин усул дар он зоҳир мегардад, ки ба воситаи майдонҳои идоракунандаи беруна, самтгирии молекулаи кристалли моеъро дар тамоми ҳаҷми қатра дигаргун месозанд. Дар ин ҳолат бандиши сатҳии молекулаи кристалли моеъ бо матритсаи полимерӣ бетағир мемонад. Баъди қатъ намудани майдон, самтгирии сохтори дохилии қатра аз ҳисоби қувваи чандирии таъсири мутақобила дар кристалли моеъ боз ба ҳолати ибтидоиаш бармегардад. Тамоми таҷҳизотҳои функционалии муосири электрооптикаи кристалли моеъгӣ, дар заминаи эффекти классикии Фредерикс асос ёфтааст [36,138, 139].

Чанде пеш усули нави идоракунии сохтори қатраи кристалли моеъ бо майдони электрӣ [67] дар матритсаи полимерӣ бо истифода аз гузариши локалии Фредерикс [66,139] пешниҳод ва амалӣ карда шуд, ки ҳангоми самтгирии директор дар андозаи қатраи кристалли моеъ аз ҳисоби таъсири мутақобилаи қувваҳои сатҳӣ дар минтақаҳои зерисатҳии на он қадар калон ба амал меояд. Ин усул ба такмилдиҳии шартҳои ҳудудии байни фазаи мобайнии КМ - полимер ба воситаи сурфактант (моддаи сатҳии фаъл)-и ионӣ асос ёфтааст. Сурфактанти ионӣ бандиши байнифазагии ғайриякҷинсаро дар сатҳи қатра фароҳам сохта, имконият медиҳад, ки қимати шадидияти идоракунии майдони электрӣ дар муқоиса бо маводҳои полимерии кристалли моеъ доштаи бандиши сатҳиаш якхела паст карда шавад.

Барои таҳлили параметрҳои электрооптикӣ дар пардаҳои полимерии кристалли моеъ дошта бо бандишҳои сатҳии ғайриякҷинсаи байнифазавӣ ва сохтани амсилаи эффектҳои идорокунии электрии пароканиши рӯшноӣ зарур аст: анизотропияи оптикаи кристалли моеъ; сохтори самтгирии молекулаи кристалли моеъ дар қатра, ки аз бандиши сатҳии байнифазавӣ вобаста аст ва

концентратсияи қатраи кристалли моеъ ва сурфактант; хосиятҳои матритсаи полимерӣ; пароканиши бисёрқаратаи рӯшноӣ ба инобат гирифта шавад [140].

Дар кори [81] вобастагии модификацияи шартҳои остонии ҳароратӣ-индутсиониди шуда (бандиши сатҳии молекулаи КМ бо матритса) дар композит тадқиқ карда шудааст, ки ба сифати матритса омехтагии маҳлули моеи глицерин ва лезитинро истифода бурдаанд. Ҳангоми тағйирёбии шартҳои остонӣ аз гомеотропӣ ба планарӣ дар қатраи кристалли моеи нематик, гузариши радиалии конфигурацияи директор ба ҳолати биполярӣ амалӣ мегардад.

Маълум аст, ки дар композитҳои тадқиқ шаванда, бо таъсири ҳарорат тағйирёбии шартҳои ҳудудӣ ба амал меоянд, ки боиси самтгирии сохтории дар қатраи кристалли моеи нематикӣ меоварад. Муқаррар карда шудааст, ки ҳангоми гармкунии табдилёбии конфигурацияи биполярӣ ба аксиалӣ вусъат меёбад, ки он бо ду тарз амалӣ карда мешавад [141].

Ҳангоми хунуккунии аз фазаи изотропӣ сараввал ташаккулёбии ду самтгирии сохтории гуногуни директор амалӣ мешавад, ки барои шартҳои ҳудудии гомеотропӣ ҷоиз аст, баъдан конфигурацияи биполярӣ ба бандиши планарӣ табдил меёбад. Омӯзиши хусусиятҳои сохторӣ ва деформатсионии пардаҳои полимерии кристалли моеъ дошта ҳангоми яксамта аз ҳисоби истифодаи амалии онҳо дар техникаи дисплейӣ яке аз масъалаҳои мубрам ба ҳисоб меравад. Муаллифони [130] муайян намудаанд, ки ҳангоми кашиши пардаҳои полимерии кристалли моеъ дошта ду эффект мушоҳида мегардад: пайдошавии поляризатсияи хаттӣ ё пайдошавии анизотропияи пароканиши селективӣ, ки дар он индикатриса шакли худро аз сферикӣ ба эллипсоидалӣ тағйир медиҳад. Қаблан, ғояи истифодаи эффекти анизотропияи пароканиши рӯшноӣ барои сохтани поляризатор аз ҷониби муаллифони [143] дар ҳолати самтгирии яксамтаи пардаҳои полимерии кристалли моеъ имконият дод, ки соҳиби нахустпатент гарданд.

Дар кори [81] қайд карда шудааст, ки қатраи КМН-и дар моеи изотропӣ диспергиридашуда, ҳангоми тағйирёбии шартҳои ҳудудӣ аз планарӣ ба гомеотропӣ, табдилёбии конфигурацияи биполяриро ба радиалӣ тибқи

пайдарҳамии гузаришҳои самтгирии сохторӣ бо ташаккулёбии хатҳои дисклинатсионии иловагӣ фароҳам месозад. Лекин тадқиқоти аналитикии падидаи мазкур дар қатраи кристалли моеи нематикӣ дар матритсаи саҳт диспергиронидашуда гузаронида нашудааст.

Дар қорҳои [148, 149] анизотропияи рӯшноигузариҳои композитҳои пардаҳои полимери кристалли моеъ дошта, вобаста аз дараҷаи ёзишдиҳӣ тадқиқ карда шудаанд. Композити мазкур аз компонентҳои полимери спирти поливинилӣ; кристалли моеи навъи нематикӣ 4-п-пентил-4'-п-сианобифенил ва моддаи сатҳии фаъоли сетилтриметиламмонии бромид, ки бандиши гомеотропии нематикро ба сатҳи полимер фароҳам месозад, иборат аст. Нишон дода шудааст, ки ҳангоми яксамта ёзишдиҳии парда компоненти поляризатсионии ортогоналӣ мустақиман гузашта ва мувофиқан дараҷаи поляризатсия ҷаҳишноқ афзуда, ҳангоми ёзишдиҳии дуқарата ба сершавӣ майл менамояд. Чунин тағйирёбии макроскопии хосиятҳои оптикӣ парда аз гузариши самтгирии сохторӣ ба конфигуратсияи якхелаи директор дар қатраи деформатсияшудаи нематик вобаста аст ва ин имконият медиҳад, ки нишондодҳои оптикӣ поляризатори рӯшноӣ дар асоси чунин маводи композитӣ беҳтар хубтар карда шаванд.

Тадқиқоти махсуси пароканиши афканишоти когерентии монохроматӣ аз қабати якқатораи зарраҷаҳо [144], ки имконияти хомӯшшавии интерференсионии афканишоти рост гузарандаро нишон медиҳад, дар қори [145] дида баромада шудаанд. Дар [146, 147] таҳлили назариявӣ ва таҷрибавии тадқиқи эффекти хомӯшшавии интерференсионии рӯшноӣ аз сатҳи моноқабати пардаи полимери кристалли моеъ дошта бо тартиботи яксамтаи ансамбли қатраҳои биполярии кристалли моеи нематик интиқол шуда, зери таъсири майдони электрӣ гузаронида шудааст.

Дар [148] имконияти сифатан беҳтар намудани самаранокии поляризатсияи рӯшноӣ дар пардаҳои полимери бо кристалли моеи нематикӣ диспергиронидашуда, ҳангоми ёзишдиҳии яксамта аз нуқтаи назари илмӣ таҳлилу муҳокима карда шудааст. Сохтори чунин пардаҳои композитиро



матритсаи полимерие ташкил медиҳад, ки дар сатҳ ва ҳаҷми он тақсимооти транслясионии бетартибонаи қатраҳои эллипсоидалии нематикӣ тире оптикӣ асосиаш қад-қадӣ самти деформатсияшавии парда равона шудааст. Пештар дар корҳои [130, 141, 143] анизотропияи максималии парешхӯрди рӯшноӣ барои ҳолати бандиши сатҳии тангенциалӣ, ки дар қатра ташаккулдиҳии конфигуратсияи биполярӣ директорро имконпазир мегардонад, нишон дода шуда буд. Муаллифи [148] усули беҳтари афзункунии анизотропияи парешхӯрди рӯшноиро тавассути ғаноиши сохтори композит бо моддаҳои сатҳии фаъоли махсус пешниҳод намудааст, ки имконияти ташаккулдиҳии самтгирии якҷинсаи директорро дар қатраҳои нематикӣ фароҳам месозад.

### **1.8. Мустаҳкамӣ ва вайроншавии маводҳои таркибии полимерӣ**

Маълум аст, ки хосиятҳои механикӣ - маҷмӯи хусусиятҳои маводҳо мебошад, ки рафтори онҳо дар майдони механикӣ муайян мекунад. Бо таъсири қувваҳои механикӣ ҳамаи ҷисмҳо, аз ҷумла полимерҳо, то андозае деформатсия шуда, дар зери таъсири ба қадри кофӣ устувор ва давомнок вайрон мешаванд. Роҷеъ ба ин, хусусиятҳои деформатсионӣ ва мустаҳкамиро фарқ мекунанд. Гурӯҳи муайяни алоҳидаро хусусиятҳои фрикционӣ ташкил медиҳад, ки рафтори полимерро ҳангоми ҳаракат дар сатҳи ҷисми дигар маънидод мекунад [150–153].

Дар робита бо ин, маҷмӯи хусусиятҳои механикӣ полимерҳо ва маводҳои тақрибӣ дар заминаи онҳо дар «Классификатори хосиятҳои маводҳои полимерӣ» [150] ба таври васеъ инъикос шудааст, ки дар он маълумоти муфассал нисбати хусусиятҳои дигари сохтори полимерҳо, ба мисли тавсифоти реологӣ ва технологӣ, параметрҳои коркард ва ғайра оварда шудаанд. Дар байни сарчашмаҳои хориҷӣ монографияи бунёди [153]-ро қайд кардан бамаврид аст.

Хусусиятҳои механикӣ полимерҳо яке аз нишондиҳандаҳои муҳимтарини истифодабарӣ дар соҳаи дилхоҳ ба ҳисоб меравад. Вай аз шартӣ таъсири майдони беруна ва сохтори таркибии полимер вобаста аст. Ба

ин шартҳо давомнокӣ, басомад ва суръати барқароршавӣ, ҳарорат, фишори беруна, хусусият ва бузургии боргузорӣ, намуди ҳолати боркунӣ (тарқиш, кашиш, фишурдан ва ғ.), равандҳои коркарди гармӣ ба хусусиятҳои асосии муҳити зист мансубанд [151, 153, 156].

Дар вобастагӣ бо ин хусусиятҳо, миқдори зиёди усулҳо ва таҷҳизотҳо барои тадқиқи механикии маводи полимерӣ мавҷуданд. Бештари онҳо дар адабиётҳои махсусе, ки ба мутахассисони соҳавӣ тавсия мешаванд, пешниҳод карда шудаанд. Вобастагии хосиятҳои механикӣ аз омилҳои берунаи гуногун дар як қатор монографияҳо сарҷамъ гардидааст, ки қисмати асосии онҳо дар рӯйхати адабиёти тавсияшуда оварда шудаанд [150-157].

Дар рисола танҳо масъалаҳои муҳим нисбати хосиятҳои механикии полимерҳо таҳлил карда мешавад, то ки гуногунрангии рафтори полимерҳо дар майдони механикӣ фаҳмида шавад. Баъдан дар заминаи иттилооти мавҷуда мустақилона самти заруриро интихоб намуда, бо ин ё он савияи сахтӣ рафтори полимер ва маводҳои композитиро дар заминаи онҳо тибқи таъсири шиддатҳои механикӣ пешгӯӣ кардан имконпазир гардад. Маводи таркибии полимерӣ гуфта маводеро меноманд, ки аз ду ё зиёда ҷузъҳои аз дуто ё зиёд фазаҳо дошта иборатанд. Онҳо маводҳои гетерогенӣ буда, ба се намуди асосӣ ҷудо мешаванд:

- маводҳои таркибие, ки аз фазаи бефосила (матритса) ва фазаи дисперсӣ (заррачаҳои дискретӣ) иборатанд;
- маводҳои таркибии пурқунандаҳои нахӣ дошта;
- маводҳои таркибие, ки аз тӯрҳои скелетӣ ё ба ҳамдигар воридшавандаи дуто ё зиёда фазаҳои бефосила дошта иборатанд.

Модули чандирии композити полимерӣ одатан нисбат ба матритсаи тоза камтар мебошад. Мутаносибан, чунин композитҳои дуфазаавӣ бояд дар муқоиса бо фазаи саҳти якҷинса хазандагӣ ва мувофиқаткунии баланд дошта бошанд. Лекин, дар аксарияти чунин маводҳо, махсусан таҳти шиддатҳои ба ҳудуди сайёлият наздик микророғҳо пайдо мешаванд. Баъди ташаккулёбии микророғҳо, суръати хазандагӣ ва релаксатсияи шиддат рушд менамояд.

Хусусиятҳои мустаҳкамӣ деформатсионӣ рафтори мавдро ҳангоми гузоштани шиддати бо суръати доимӣ афзуншаванда дар раванди деформатсия то лаҳзаи вайроншавӣ инъикос мекунад. Диаграммаи дар ин маврид ҳосил шудаи  $\sigma=f(\epsilon)$  - ро қачии деформатсия меноманд. Ин қачӣ дар мавриди доимӣ будани ҳарорати полимер омӯхта мешавад. Ин навъи нисбатан маъмултарини ченкунӣ ва санҷиши механикӣ ба ҳисоб меравад, ки ба муҳаққиқон ва муҳандисони соҳавӣ бештар зарур аст [157, 158].

Қачии деформатсионӣ бо истифода аз таҷҳизотҳои махсус, ки бо истилоҳ мошинҳои кананда номгузори шудаанд, тадқиқ карда мешаванд. Конструксияҳои гуногуни андозаҳояш хурд то калони чунин мошинҳои кананда мавҷуданд, ки имконияти кориро бо суръатҳои гуногуни шиддати механикӣ, дар ҳудуди хеле васеи ҳарорат, ҳатто то ҳарорати деструксияи полимерҳо фароҳам месозад. Тамоми ин тадқиқотҳо стандартизатсия карда мешаванд. Таҷҳизотҳои мазкур имконият медиҳанд, ки тадқиқот на танҳо дар речаи кашиши яксамта ё фишурдашавӣ, балки барои дигар намудҳои деформатсия низ гузаронида шаванд.

Алоқамандии байни натиҷаҳои тадқиқоти деформатсионӣ мустаҳкамӣ бо рафтори воқеии мавод ҳодисаи оддӣ ба ҳисоб намеравад. Азбаски хусусияти сайёлию чандирии полимерҳо ҳиссиётнокии баланди онро нисбат ба хосияти механикӣ зоҳир менамояд, диаграммаи шиддат-деформатсия танҳо тақрибан рафтори мавдро пешгӯӣ менамояд. Чихати ба даст овардани маълумотҳои назаррас ва саҳеҳ ба муҳандис ё муҳаққиқ лозим аст, ки таҷрибаҳоро дар ҳароратҳои гуногун ва суръатҳои гуногуни деформатсионӣ гузаронад.

Мустаҳкамӣ яке аз муҳимтарин хусусиятҳои полимерҳо ба ҳисоб меравад, ки имконияти истифодавии онҳоро муайян мекунад. Таҳти мустаҳкамии механикӣ қобилияти муқобилияти ҷисмҳоро ба вайроншавӣ зери таъсири қувваҳои гузошта шуда мефаҳманд. Тавсифоти миқдории мустаҳкамӣ шиддати каниш ( $\sigma_p$ ) ва ёзиши нисбӣ ҳангоми каниш ( $\epsilon_p$ ) ба ҳисоб меравад. Онҳо аз сохтори физикию химиявии полимер ва хосиятҳои физикии ҳуди мавод, аз ҳарорат, суръат ва навъи деформатсия ва як қатор

параметрҳои дигари таъсиркунада, ки дар боло шарҳ дода шудаанд, вобаста аст [150, 156, 157].

Вайроншавӣ равандест, ки бо мурури замон, бо суръати муайян қорӣ мешавад, дарозумрӣ бошад, бузургист, ки ба суръати раванди вайроншавӣ мутаносиби чаппа аст. Вобастагии дарозумрӣ аз шиддат ва ҳарорат маҷбур месозад, ки фарзияи мақоми асосӣ доштани энергияи ҳароратӣ, аниқтараш флукуатсияи онҳо ба назар гирифта шавад. Дар ҳоле, ки флукуатсияи ҳароратӣ нисбат ба энергияи банди химиявӣ калон аст, банд қанда мешавад. Шиддати гузошта шуда имконияти дар самти муайян ғуншавии ин флукуатсияҳоро фароҳам сохта, энергияи активатсияи қандашавии бандҳоро кам менамояд [154, 155, 157, 158].

Қандашавии бандҳои байнимолекулавӣ ва ҳам химиявӣ имконпазир аст. Наздик будани энергияи активатсияи ибтидоии вайроншавии полимерҳо  $U_0$  ба энергияи активатсияи вайроншавии ҳароратии онҳо ва новобастагии он аз тағйироти сохторӣ дар полимерҳо имконият медиҳад фарз қарда шавад, ки ҳангоми вайроншавии полимерҳои шишагунӣ ва кристаллӣ бандҳои химиявӣ дар занҷири асосӣ таҳти таъсири шиддати механикӣ қанда шуда, бандҳои шиддатнок бошад, дар зери таъсири флукуатсияи ҳароратӣ қанда мешаванд [150, 156].

Истифодаи васеъ дар соҳаҳои гуногуни техникаи маводҳои композитии полимерӣ дар заминаи нахҳои фавқулмустаҳкам ва матритсаи полимерӣ имконияти васеъ намудани ҳудудҳои ҳарорати қорӣ онҳоро фароҳам месозад. Маводҳои композитии полимерӣ, ки на танҳо дар шароити муқаррарӣ, балки дар ҳарорати аз  $200^{\circ}\text{C}$  баланд низ қобилияти қорӣ дарозмуддат ва устувор доранд, ҳангоми қорқарди қузъиёти қудогона ва қисматҳои нақлиётҳои баландсуръат талаботи махсусро тақозо мекунанд [159]. Дар ин самт баландқунии устувории ҳароратии матритсаҳои полимерӣ афзалиятнок мегардад, чунки устувории ҳароратии қурқунандаҳои армиронида шудаи маводҳои композитии нақдори органикӣ ва махсусан нахҳои қарбонӣ – якҷанд қаротиба аз устувории ҳароратии матритсаҳои полимерии анъанавӣ, ба қисли эпоқсидҳо, полиэфирҳо ва ғайра баланд аст.

Бинобар он ивази васлкунандаҳои анъанавӣ бо маводҳои композитии нахдори ба ҳарорат устувор, бо нигоҳдории чунин нишондодҳои муҳими механикӣ, ба монанди мустаҳкамӣ ва часпакии байниқабатӣ, дар тамоми соҳаҳои ҳарорати истифодабарии онҳо масъалаи актуалӣ ба ҳисоб меравад.

Вайроншавии маводҳои композитии полимерӣ, чун дар мавриди вайроншавии полимерҳо [156, 159], бо таҳлили равандҳое, ки дар ҳисми саҳт таҳти шиддати механикӣ аз лаҳзаи гузориш то пурра вайрон шудани мавод ба вуҷуд меояд, сурат мегирад. Ҳангоми боргузори маводҳои композитии полимерӣ бо нахҳои мӯрт ва матритсаи сайёлию чандир, вайроншавии нахҳои алоҳида аз сабаби дисперсияи мустаҳкамӣ, метавонад дар зинаи аввали раванди деформатсияшавӣ ба амал ояд. Вобаста аз таносуби хусусиятҳои чандирӣ ва пластикии маводҳо, саҳми ҳаҷм ва тақсимооти мунтазам, вайроншавии нахҳои алоҳида метавонад чузъӣ шуда, боиси вайроншавии пурра нагардад, ё ки пурра маводро вайрон созад. Дар омӯзиши масъалаҳои гуногуни механикаи вайроншавӣ ва микромеханикаи вайроншавии маводҳои композитии нахдор, коркарди назарияи статистикуи чамшавии осебҳо, мустаҳкамии адгезионӣ дар ҳудуди байни нахи матритса ва муқаррар намудани нақши матритсаи полимерӣ дар ташаккулёбии хусусиятҳои мустаҳкамии маводҳои композитӣ муҳаққиқони рус ва хориҷӣ саҳми ниҳоят калон доранд. [159, 160]. Тафсилотҳое, ки дар корҳои [159] ва [161] пешниҳод шудаанд, нисбати раванди статистикуи гуншавии осебҳо имконият намедихад, ки пешгӯии саҳеҳро оид ба нишондодҳои мустаҳкамии композитҳо дар заминаи вобастагҳои ҳароратӣ гузаронем. Маҳдудиятҳои дар ин амсила гузошта шудаи нақши матритсаи полимерӣ танҳо бо азнав тақсимкунии шиддати чандирӣ байни нахҳо ҳодисаи пурраи гузариш аз микровайроншавии маҳдудшуда шуда ба макровайроншавии маводҳои композитии нахдор инъикос карда наметавонад. Гуногунмодулии компонентаҳо ва адгезияи хуби матритса ба нах дар шароити ҳамҷоягии деформатсияшавӣ, тибқи натиҷаҳои таҷрибавии [162–164] ногузир на танҳо ба кандашавии нах, балки боиси тавлиди тармавии микророғҳо дар фазои

байни нахҳо мегардад, ки то вақтҳои охир дар амсилаи вайроншавӣ ба инобат гирифта намешуд.

Дар кори [165] бо усулҳои сохторӣ, механикӣ ва ҳароратӣ таъсири иловакунии ками нанотрубкаҳои бисёрқабатаи карбонӣ ба хусусиятҳои физикии полимерҳои аморфӣ ва кристаллӣ тадқиқ карда шудааст. Механизмҳои инкишофи равандҳои деформатсия дар полимерҳои кристаллӣ ва аморфӣ бо истифода аз фаҳмиши таъсири деформатсияи лағжиши кристаллҳо ба тағирёбии ҳолатӣ фавқулэластикии қитъаҳои аморфӣ ҳангоми ворид кардани нанотрубкаҳои бисёрқабатаи карбонӣ пешниҳод шудааст.

### **1.9. Гузориши масъалаҳои ҳалталаб дар рисолаи диссертатсионӣ**

Баррасии мухтасари адабиётҳои илмӣ нисбати ҳолати кристаллии моеъгии модда, хосиятҳои физикию механикӣ ва электрооптикий онҳо маълумот медиҳад. Мусаллам аст, ки кристаллҳои моеъ моддаҳои органикий махсусе мебошанд, ки дар як вақт хосиятҳои изотропӣ доранд ва ҳамзамон дорои хосиятҳои кристаллӣ низ мебошанд. Таҳлили адабиётҳои соҳавӣ нишон дод, ки хусусиятҳои сохтории кристаллҳои моеи нематикҳо, смектикҳо ва холестерикҳо то андозаи муайян хеле доманадор мебошанд.

Солҳои охир як қатор тадқиқотҳои нодир, ки ба коркард ва омӯзиши сохтори кристаллҳои моеъ бо бандиши сатҳии назоратшаванда нигаронида шудаанд, гузаронида шуданд. Таъсири самтгирии қатраҳои КМ аз ҳисоби тағйир додани шартҳои ҳудудӣ дар натиҷаи ташаккули қабати наноандозавии моддаҳои фаъоли сатҳӣ таҳти таъсири майдонҳои беруна пешниҳод ва амалӣ карда шудааст. Бо вучуди ин, ҳанӯз ҳам муаммои илмӣ ба даст овардани пардаҳои композитии полимерии кристалли моеъ дошта бо хосиятҳои оптималии сохторӣ ва механикӣ вучуд дорад. Ин масъала бештар аҳамияти илмӣ натиҷаҳои тадқиқоти пешниҳодшударо муайян мекунад, зеро то анҷоми он маҷмӯи маълумотҳои таҷрибавӣ ва назариявӣ ба даст овардан дар назар аст, ки механизмҳои физикии таъсироти ба амал омадаро муфассал тавсиф диҳад.

Бо назардошти ин омилҳо коркард ва тадқиқи усулҳои ташаккулдиҳии композитҳои дар заминаи полимерҳои бисёрфункционалӣ ва кристалли моеи нематикӣ асос ёфта барои муайянкунии хосиятҳои морфологӣ (физикию механикӣ ва электрофизикӣ) вобаста аз ҳолати ибтидоии композит ва дигар речаҳои технологӣ мубрамият пайдо мекунад.

Дар алоқа бо ин гузориши масъала, ҳалли ҳадафҳои маъмули зерин ба нақша гирифта мешавад:

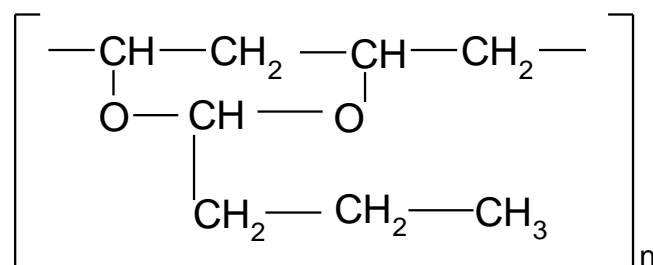
1. Интихоби компонентҳои пардаҳои композитӣ (полимери матритсавӣ, кристалли моеи нематик 7СВ, глитсерин, ҳалкунанда) ва омода намудани намунаҳои оптималӣ барои гузаронидани таҷрибаҳо.
2. Омӯзиши имкониятҳои татбиқи эффектҳои сохторӣ ва нишондодҳои физикию механикии пардаҳои композитӣ вобаста аз таносуби компонентаҳо, ҳарорат ва дигар омилҳои беруна.
3. Тадқиқи таъсири андоза, шакл ва усули деформатсиякунӣ ба хосиятҳои оптикии маводи пайваस्तкунанда.
4. Тадқиқи хусусиятҳои морфологии (хосиятҳои электрофизикӣ) пардаҳои композитии кристалли моеъ дошта дар майдони ҳарорат.
5. Омӯзиши гузаришҳои конформатсионӣ дар пардаҳои полимери катраи кристалли моеъ дошта.
6. Бо истифода аз усули оптикаи поляризатсионӣ омӯختани текстураи пардаҳои омодашуда ва конфигуратсияи директор дар ҳаҷм ва сарҳади катраи кристалли моеи нематикӣ.

## БОБИ II. МАВОД ВА МЕТОДҲОИ ТАҲҚИҚОТ

### 2.1. Объекти таҳқиқот

Дар боби мазкур номгӯи маводи истифодашуда бо асосноккунӣ ва интихоби онҳо; усулҳои тайёр кардани намунаҳо ва методҳои таҷрибаҳои таҳқиқотӣ иттилоъ дода шудааст. Барои тайёр намудани намунаҳо кристалли моеи навъи 4-п-гептил-4'-сианобифенил 7СВ бо анизотропияи мусбати диэлектрикӣ ( $\Delta\epsilon > 0$ ) истифода карда шуд. Ба сифати матритсаи полимерӣ бошад, ду полимери хаттӣ истифода шуданд, ки шартҳои ҳудудии тангенсалиро барои кристалли моеи нематикӣ таъмин менамоянд: поливинилбутирал (ПВБ) ва спирти поливинилӣ (СПВ). Дар поён маълумоти муфассал доир ба хусусиятҳо ва характеристикаҳои чунин объектҳо оварда шудаанд.

**Поливинилбутирал (ПВБ)** як навъ полимери маъмул ва аз ҷиҳати саноатӣ то андозае муҳим ба ҳисоб меравад, ки ҳамчун ҷузъи қабатҳои ламинатӣ, лакҳо, хоқаҳои махсуси химиявӣ, ширешҳо, ва рӯйпӯшҳои муҳофизатӣ дар истеҳсоли дастгоҳҳои фотоэлектрикӣ татбиқи васеи худро пайдо кардааст [166, 167].



Поливинилбутиралро тавассути конденсатсияи спирти поливинилӣ бо алдегиди равғандор дар муҳити кислотаи хлориди гидрогенӣ синтез мекунад. ПВБ хокаи рангаш сафед буда, дорои зичии  $1120 \text{ кг/м}^3$  мебошад, ки дар таркибаш 65-78% компонентаи бутирал, 2-3% спирти атсетил ва 19-32% спирти винилӣ дорад.

Рӯйпӯшҳои дар заминаи ПВБ ҳосил шуда, бо тобоварии баланд ба рӯшноӣ ва хусусияти адгезивии аъло ба маводҳои гуногун доро мебошанд, ки боиси татбиқи васеъ дар истеҳсоли таҳрангҳо ва ширешҳо гардидааст [166].



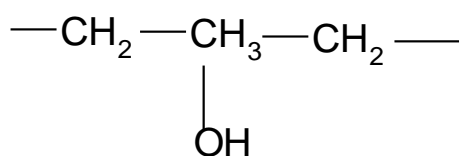
Дар заминаи поливинилбутирал рангу лакҳои махсус барои муҳофизати зидди зангзании металлҳо тайёр карда мешаванд. Ин полимер як ҷузъи асосии таҳрангҳои фосфатӣ ба ҳисоб меравад, ки дар саноати мошинсозӣ ва дигар соҳаҳо васеъ истифода бурда мешавад. Ба шарофати хусусиятҳои баланди оптикӣ худ (шаффофият, берангӣ, тобоварӣ ба рӯшноӣ); қобилияти адгезионӣ хуб бо шиша; тобоварӣ ба хунукӣ ва мустаҳкамӣ баланди механикӣ, ПВБ то имрӯз барои истеҳсоли шишаҳои майданашаванда, ки дар мошинсозӣ ва ҳавонавардӣ татбиқи васеъ ёфтааст, маводи зарурӣ ба ҳисоб меравад [166-168].

Полимери мазкур барои тайёр кардани пардаҳои полимерии бо кристалли моеъ диспериронидашуда ба шарофати хосиятҳои физикию химиявиаш интихоб карда шудааст. Вай дорои хусусияти рӯшноигузaronии баланд, адгизияи хуб, мустаҳкамӣ механикӣ буда, дар бисёр ҳалқунандаҳои органикӣ ҳал мешавад ва дар соҳаи биниши спектр шаффоф аст, сифатҳои назарраси пардахосилкуниро дорад ва бандиши планариро ба молекулаҳои мезоморфии алкилсианобифенилҳо таъмин месозад [36, 53, 78]. Ҳарорати шишагунии ПВБ  $T_{ш}=57^{\circ}\text{C}$  ва ҳарорати вайроншавии химиявии он ҳангоми алоқаҳо бо ҳаво  $160^{\circ}\text{C}$ ; нишондоди шикасти рушноии ПВБ  $n_r=1,492$  дар  $T=25^{\circ}\text{C}$  ( $\lambda=0,589$  мкм).

Спирти поливинилӣ (СПВ) як навъ полимерест, ки аз ҷиҳати химиявӣ ба полиэтилен (ПЭ) монандӣ дорад ва сохтори кристаллиаш хеле ҷолиб аст. Ҳамзамон, модули назариявии чандирӣ дар самти занҷири СПВ низ хеле баланд аст ва ин имкон медиҳад, ки ҳосил кардани СПВ ба гирифтани пардаҳои полимерӣ ва нахҳои дорои модули баланд имконпазир аст [163]. Дар доираи ин, СПВ нисбат ба полиэтилен нуктаи гудозиши баландтарро дорад ( $240^{\circ}\text{C}$ ), хосиятҳои часпакии он бошад беҳтар аст ва ба осонӣ тағир дода мешавад. Ин ба зиёд шудани тавачҷӯх ба омӯзиш ва таҳқиқи равандҳои маълумотҳои гелӣ ва пардаҳои модулҳои баланд доштаи СПВ меоварад [169, 170]. Муаллифи [170] муайян кардааст, ки ҳангоми деформатсия кардани пардаҳои дар заминаи СПВ ҳосилшуда бо массаи молекулавӣ  $M = 3.8 \times 10^5$ , дараҷаи модули чандирии ба 50,3 ГПа ва қимати максималии дараҷаи деформатсияшавӣ (40%) ва модули чандирӣ

ба (62 ГПа), ҳангоми дароз кардани маҳлули (гел) пардаҳо ва СПВ бо  $M = 5.8 \times 10^5$  гирифта шуд.

Сирти поливинилӣ (СПВ) як қатор хусусиятҳои муҳими ба худ хос, ба мисли: хосиятҳои универсалии адгезионӣ ва пайвастанда, тобоварӣ ба оксидшавӣ ва қобилияти ба вучуд овардани комплексҳои бо пайвастиҳои муайян, доро мебошад. Аз ин рӯ, вай ҳамчун стабилизатори (тасбиткунандаи) нанозарраҳо ва чӯзи таркибии маводи доругӣ, эмулгатор барои синтези поливинилатсеталӣ ва пайвандкунанда барои манбаъҳои нури электролюминесентӣ васеъ истифода мешавад [168, 170, 171]. Илова бар ин, СПВ бо маводи фотолитии комплексҳои галогении материалҳои гузаранда таъсири мутақобила намуда, даҳолати эффекти рӯшноиро зиёд менамояд ва ин раванд имкон медиҳад, ки полимери мазкур ҳамчун матритса барои системаҳои ба рӯшноӣ ҳассос истифода шавад [168, 169].



Сирти поливинилӣ дорои мустаҳкамии механикии баланд буда, чун гидроген ва оксиген газро бад мегузаронад ва дар қисми намоёни спектр шаффоф мебошад. Ҳалкунандаи асосии СПВ об ба ҳисоб меравад, вақте ки гарм карда мешавад, вай дар глитсерини алифатӣ ҳал мегардад. Дар мавриди гармкунӣ СПВ то андозае мулоим мешавад, аммо дар шароити муқаррарӣ об намешавад. Вобаста ба ин маълум аст, ки ҳарорати гузариши шишагунии СПВ  $T = 85^\circ\text{C}$ , ҳангоми то  $140^\circ\text{C}$  гарм кардан вайрон намешавад, вале ҳангоми то ба  $160^\circ\text{C}$  гарм кардан муддати дароз раванди дегидрататсия мушоҳида мегардад. Нишондоди шикасти рӯшноии сирти поливинилӣ  $n_p$  дар ҳарорати  $T = 25^\circ\text{C}$  ( $\lambda = 0,589$  мкм) ба 1,49 - 1,53 баробар аст. Полимери мазкур барои молекулаҳои мезоморфии кристалли моеъ аз синфи алкилсианобифенилҳо бандиши планариро таъмин мекунад [168-170].

Хусусиятҳои хоси СПВ бештар аз усули ҳосил кардани полимер ва таркиби гурӯҳҳои боқимондаи асетатӣ вобаста мебошад. Ҳарорати шишагуниши СПВ дар фосилаи ҳарорати  $T = 65-85^\circ\text{C}$  тағйир меёбад. Дар мавриди кам гардидани микдори

боқимондаи гурӯҳҳои атсетат сополимерҳои спирти винил (СВ) ва винил атсетат (ВА) монотонӣ меафзояд.

Ҳарорати гудозиши СПВ аз миқдор ва характери тақсимои гурӯҳҳои боқимондаи атсетат вобаста аст. Макромолекулаҳои сершоха дар батартибдариҳои сохтор ва таркиби гурӯҳҳои 1, 2-и гликол камтар таъсир мерасонад. Дар умум, ҳарорати гудозиши СПВ бо зиёд шудани компонентҳои таркибии гурӯҳҳои боқимондаи атсетат кам мешавад.

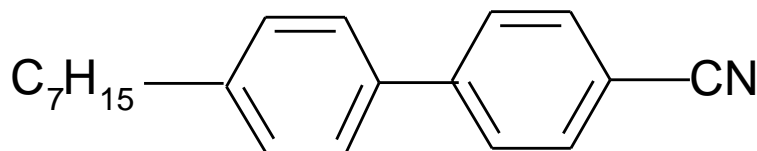
Бо усули кристаллкунӣ дар спиртҳои бисёратома аз маҳлули СПВ монокристаллҳои пластинагӣ ва сферолитҳо ба даст овардан мумкин аст. Дараҷаи кристаллизатсияи СПВ дар робита ба навъҳои гуногуни номунтазамӣ, дар ҳудуди 45-70% ҷой мегирад [168]. Коркарди ҳароратии спирти поливинилӣ дар доираи ҳарорати 80-225<sup>0</sup>С амалӣ карда мешавад. Раванди кристаллнокии полимери мазкур тибқи хатҳои спектри инфрасурх дар басомади 1144 см<sup>-1</sup> баҳодихӣ карда мешавад. Хатҳои басомади 916 ва 850 см<sup>-1</sup> мутаносибан пайдарпайии синдиотактикӣ ва изотактиро дар спирти поливинилӣ тавсиф мекунад.

Интенсивнокии хатҳо дар ҳудуди басомади 3500 см<sup>-1</sup>, ки хоси гурӯҳҳои озоди ОН аст, то андозае паст мебошад, дар ҳоле ки интенсивнокии хатҳои ҳудуди басомади 6250 ва 6579 см<sup>-1</sup>, ки ба гурӯҳҳои гидроксилӣ тааллуқ доранд ва бо бандҳои гидрогенӣ баланд алоқаманд мебошад, нисбатан калон аст [166, 169, 170]. Дар ҳарорати хонагӣ, тақрибан 70% гурӯҳҳои гидроксилӣ дар ҳолати алоқамандӣ мебошанд. Раванди пурра вайроншавии бандҳои гидрогенӣ тақрибан дар ҳарорати 150<sup>0</sup>С ба амал меояд.

**Кристалли моеи нематик**, ҳамчун компонентаи кристалли моеъ навъи нематики бештар маъмули 4-н-гептил-4'-сианобифенил (4-n-Heptyl-4'-cyanobiphenyl) (7СВ) бо ҳарорати равшаншавии T=42<sup>0</sup>С ва нишондоди шикасти рӯшноии  $n_{||}=1.682$ ,  $n_{\perp}=1.522$  (T = 36<sup>0</sup>С) истифода бурда шудааст. Вобаста ба ин дар ҳарорати T=29<sup>0</sup>С нишондоди шикасти рӯшноии шуои муқаррарӣ (оддӣ) ба  $n_o=1.5200$  ва нишондоди шикасти рӯшноии ғайримуқаррарӣ ба  $n_e=1.6852$  баробар мебошад. Анизотропияи оптикии 7СВ дар ҳарорати T=29<sup>0</sup>С ба  $\Delta n = 0,1652$  ва

массаи молекулавии он ба 277.403 г/мол баробар аст. Зичии он дар ҳарорати  $T=36^{\circ}\text{C}$  ба  $\rho = 0,995 \text{ г/см}^3$  баробар мебошад [173-175].

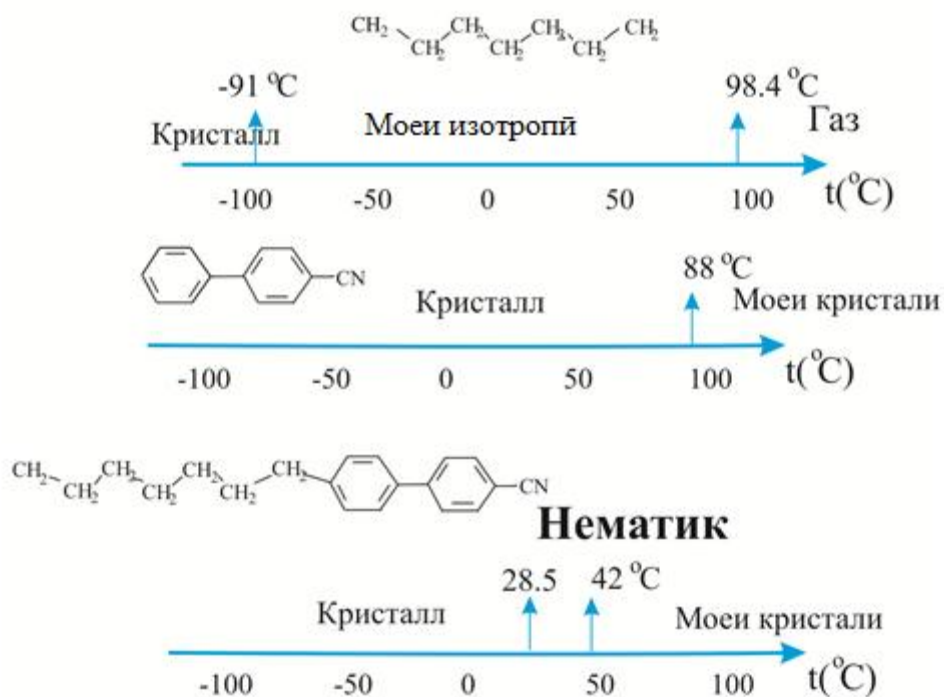
Дар ҳарорати  $T=41^{\circ}\text{C}$  нуфузпазирии диэлектрикии кристалли моеи мазкур (7CB) ба  $\varepsilon_{\parallel} = 13,55$  ва  $\varepsilon_{\perp} = 6,8$ , ва анизотропияи диэлектрикии он бошад ба  $\Delta\varepsilon = 6,75$  баробар мебошад. Ҳамин тариқ, дар температураи  $T=29,4^{\circ}\text{C}$  модули чандирии он ба  $K_{11}=6,7 \cdot 10^{-12}\text{Н}$ ,  $K_{22}=3,6 \cdot 10^{-12}\text{ Н}$  ва  $K_{33}=9 \cdot 10^{-12}\text{Н}$  баробар мешавад. Доимиҳои эластикии модули чандирӣ ва печиш ( $K_{11}$  ва  $K_{22}$ ) пентил, гексил, гептил ва октилсианобифенилҳо (5CB, 6CB, 7CB ва 8CB) мутаносибан бо усулҳои гузариши Фредерикс муайян карда мешаванд. Муқоисаи натиҷаҳо бо доимиҳои чандирӣ ҳангоми қатшавӣ ( $K_{33}$ ) ва параметри тартиботи ( $S$ ) ин гуна пайвастагиҳо ва инчунин бо гузаришҳои ҳароратӣ ( $\delta H$ ), бо истифода аз дастгоҳи калориметрияи дифференсиалии сканиронида шуда (КДС) ва гузаришҳои ҳароратӣ ( $T_{\text{NI}}$ ).  $T_{\text{н.и.}}$  ва  $K_{33}$  наздик  $T_{\text{NI}}$ , барои ҳамаи табдилёбиҳои чор пайвастагиҳо муайян мешаванд [42, 176, 177].



*Расми 2.1.1. Кристалли моеи нематикӣ навъи 4-п-гептил-4'-сианобифенил*

Омӯзиши алоқамандии сохтору хосиятҳо нишон медиҳанд, ки шумораи атомҳои карбон дар занҷирҳои алкилии 4-п-алкил-4'-сианобифенил дар силсилаи кристаллҳои моеъ фазаи нематикӣ ё смектикиро ташкил менамояд. 4-п-гептил-4'-цианобифенил (7CB) як навъи махсуси махсули гомологии 4-п-алкил-4'-цианобифенил (пCB) мебошад, ки бо хусусиятҳои электрию оптикии хоси худ хеле маъмул аст. Ҳамин тавр, пайвастагии 7CB як навъи кристалли моеи энантиотропии махсусе мебошад, ки дар ҳарорати  $T=28^{\circ}\text{C}$  фазаи нематикӣ ва дар ҳарорати  $42,5^{\circ}\text{C}$  фазаи изотропиро соҳиб мегардад.

## Пайвастагиҳои кристалли моеи термотропи



Расми 2.1.2. Ҳароратҳои гузариши фазавии объекти таҳқиқотӣ

Яке аз ташкилдиҳандаҳои пайвастагии 4-п-алкил-4'-цианобифенилро (пСВ) гептил меноманд. Пайвастагии мазкур дорои занҷири ҳафтатомаи карбонӣ мебошад. Ин моеи оддии изотропӣ буда, дар ҳарорати хеле паст гудохта мешавад ва дар  $T=91^{\circ}\text{C}$  аз ҳолати кристаллӣ ба моеъ мегузарад. Ҳамин тавр, дар температураи хонагӣ вай моеи оддии сӯзанда буда, дар температураи тақрибан  $100$  дараҷа мечӯшад, яъне ба газ табдил меёбад. Ҳамзамон гуфтан мумкин аст, ки он як навъ компонентаи нафт аст. Моддаи дигар ин пайвастагии сианобифенил мебошад. Дар он ду ҳалқаи бензолии ароматӣ ба чунин як қитъаи саҳти чузъӣ васл карда шудааст. Агар молекулаи гептан чандир бошад, пас, молекулаи сианобифенил саҳт аст. Ҳамин тавр, мутаносибан аз сабаби саҳтӣ, як марҳилаи кристаллӣ ба вуҷуд меояд, ки дар  $88^{\circ}\text{C}$  гудохта мешавад. Яъне тақрибан  $200$  дараҷа баландтар аст. Ҳамзамон болотар аз ин ҳарорат боз раванди гудохташавӣ мушоҳида карда мешавад ва моеи изотропии начандон қолиб пайдо мегардад. Лекин, ҳангоми ин ду моддаро якҷоя намудан, яъне молекулаҳои онҳо аз ҷиҳати

химиявӣ бо ҳам пайваст кардан, фазаи кристаллие пайдо мегардад, ки то 30°C давом карда, сипас дар температураи аз 42°C зиёд шудан вай пурра ба моеъ мубаддал мешавад.

## **2.2. Усулҳои тайёр кардани композитҳои полимерии кристалли моеъ дошта**

Композитҳои кристалли моеъгӣ дар шакли хоқаҳои полимерӣ бо пуркунандаҳои кристалли моеъгӣ [9, 177] объектҳои мувофиқ барои коркард ҷиҳати сохтани дастгоҳҳои муосири оптоэлектроника ва технологияи сенсорӣ мебошанд. Лекин, мураккабии технология ва ҳарҷоти нисбатан баланд таҳқиқотро дар ин самт то андозае маҳдуд мекунад.

Ҳоло бештар маводҳои таркибии полимерие маълум мебошанд, ки дар онҳо ҷавфҳои сунъии матритсаи полимерӣ бо қатраҳои андозаи хурд доштаи кристалли моеъ пур карда мешаванд. Вобаста ба ин технологияи истехсол ва коркарди пардаҳои полимерии қатраи кристалли моеъ доштаро бо ду усули махсусан мувофиқ ҷудо мекунад [9,104, 178, 179]: яқум - усули эмулсионӣ ва дуюм - усули тақсимои фазавӣ.

Ҳамин тавр, дар технологияи эмулсионӣ ба маҳлули полимер қатраҳои кристалли моеъ омехта карда мешавад (кристалли моеъ маҳлул намешавад). Пас аз то охир бухор шудани ҳалкунанда, пардаи полимерӣ саҳт шуда, қатраҳои ҳосил мешаванд, ки дар дохили он кристалли моеъ мавҷуд аст [9, 179]. Технологияи дуюмро тақсимои фазавӣ меноманд. Дар ин усул қадами аввал ба истехсоли маҳлули ҳақиқии нематик дар маҳлули полимер ё мономер мебошад. Сипас, раванди саҳтшавӣ сурат мегирад, ки дар ҷараёни он ҷудошавии фазаҳои воқеӣ ба амал меояд, яъне – микроқатраҳои нематик аз массаи полимер ҷудо мешаванд.

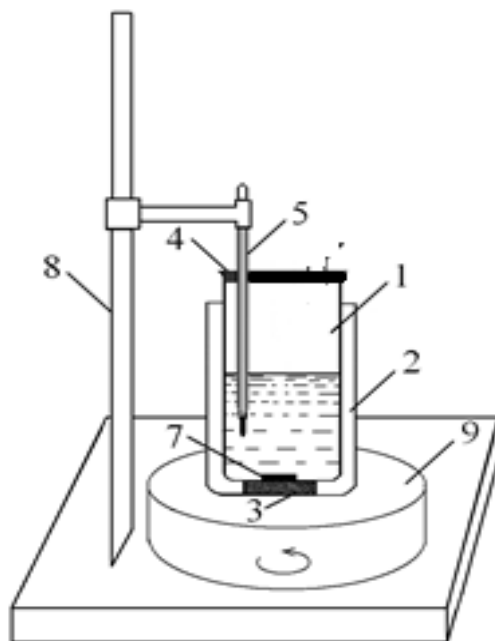
Вобаста аз усули бартарафкунӣ тақсимои фазавиро ба чанд гурӯҳҳои асосӣ ҷудо мекунад: тақсимои фазавӣ дар натиҷаи полимеризатсия PIPS (Polymerization-induced phase separation), хунуккунию бухоршавӣ TIPS (Thermally-induced phase separation) ва бухоршавии ҳалкунанда SIPS (Solvent-induced phase separation) [9, 86].

Дар доираи ин, намунаҳои пардаҳои полимерии дар заминаи спирти поливинилӣ (СПВ) ва кристалли моеи нематикӣ 7СВ (КМН 7СВ) асос ёфта бо усули эмулсионӣ омода карда шудаанд [9]. Дар мавриди аввал пардаҳои композитӣ бо таносубҳои СПВ+7СВ 85:15%, 80:20%, 75:25%, 70:30%, 65:35% матритсаи полимерӣ ва компонентаи кристалли моеъ интихоб карда шуданд. Зиёд намудани миқдори компонентаи дуюм боиси афзун гардидани ҷавфҳои равшанмонанди андозаи хурд дошта дар қабати пардаи полимерӣ мегардад. Моҳияти усули мазкур дар он аст, ки КМН бо маҳлули обии полимер, бидуни маҳлул шудан, дар он ворид карда мешавад ва бо истифода аз омехтакунии механикӣ ё дисперсияи ултрасадоӣ қатраҳои хурди андозаи муайянодошта ба вучуд оварда мешаванд.

Ҳамзамон, ҷиҳати баланд кардани хусусияти эластикӣ пардаи спирти поливинилӣ ҳамчун пластификатор 1% маҳлули глицерин илова карда мешавад. Ҳангоми тайёр кардани маҳлули кории кристалли моеъ, нигоҳ доштани суръати оптималӣ ва якхелаи омехтагӣ то андозае муҳим аст. Пас аз омехтакунии маҳлули якранг бар рӯи таҳлавҳаи махсуси шишагии тоза карда шуда рехта мешавад. (Дар бештар мавридҳо андозаи майдони таглавҳа 75x25мм аст). Раванди мазкур то пурра бухор шудани ҳалқунанда, яъне аз 12 то 14 соат дар зери таъсири ҳарорати 35<sup>0</sup>С идома меёбад. Ҳамин тавр, пас аз то охир бухоршавии ҳалқунанда, дар сатҳи таҳлавҳаи шишагин пардаи полимерии шаффофи ғафсиаш 15-20 мкм буда боқӣ мемонад, ки дар қабати он қатраҳои кристалли моеъ ба намуди ҷазаҳои алоҳида ҷойгир шудаанд. Тибқи маълумотҳои корҳои дар ин самт анҷомёфта, маълум аст, ки полимери спирти поливинилӣ дар сатҳи худ, барои кристалли моеъ интихоб шуда, шартҳои ҳудудии тангенсалиро қаноат менамояд. Масъалаи мазкур то андозае бо истифода аз микроскопи оптикӣ поляризатсионӣ тамғаи (POLAR-2) мушоҳида ва тасдиқ карда мешавад.

Пардаҳои композитии дар заминаи матритсаи полимерии поливинилбутирал (ПВБ) асосёфта бо истифода аз технологияи ҳалқунандагии усули Solvent-induced phase separation (SIPS) [9, 86] омода карда шуданд. Дар усули (SIPS) полимер ва кристалли моеи нематик дар ҳалқунандаи умумӣ (яъне

спирти этилӣ), ҳал карда мешаванд ва дар ин вақт маҳлули гомогенӣ ба даст оварда мешавад.



**Расми 2.2. Тархи дастгоҳи омехтакунандаи магнитӣ**

Ҳамин тавр, компоненти кристалли моеъ дар равандҳои бухоршавии ниҳони ҳалкунандаи умумӣ ба фазаи алоҳида ҷудо карда мешавад. Андозаи қатраҳо дар раванди мазкур бевосита аз ҳолат ва суръати бухоршавии ҳалкунанда вобаста мебошад. Омехтаи мазкур бо таносубҳои зерини матритсаи полимерӣ ва компонентаи асосии кристалли моеъ интихоб ва омода карда шудаанд: ПВБ: (КМН) 7СВ 85:15%, 80:20%, 75:25%. Бо истифода аз дастгоҳи омехтакунандаи механикӣ ва дисперсионӣ (расми 2.2), кристалли моеъ ба қатраҳои хурди андозаи зарурӣ дошта тақсим карда шуданд. Маҳлули гетерогении мазкур дар сатҳи таҳлабҳои шишагӣ рехта шуда, ҷиҳати мунтазам ва бо суръати ниҳоят суст бухор шудани ҳалкунандаи спирти этили он дар дохили зарфи махсуси шишагии пӯшида шуда дар ҳарорати муайян нигоҳ дошта мешавад. Раванди мазкур то пурра бухор шудани ҳалкунанда давом мекунад, яъне ҳалкунандаи спирти этилӣ дар мудати 12-14 соат то охир бухор мешавад. Ҳамин тавр, пас аз то охир бухор гардидани ҳалкунанда (спирти этил), пардаи полимери хусусияташ гетерофазӣ бо ғафсии якхелаи муайян дар сатҳи лавҳаи шишагин боқӣ мемонад.



Пардаҳои полимери мазкур бевосита барои сохтани айнакҳои махсуси оптикӣ истифода мешаванд, ки вобаста аз таъсири майдонҳои беруна шаффофияти онҳоро то андозае тағйир медиҳад. Дар доираи ин, яке аз параметрҳои асосии чунин пардаҳои композитӣ ғафсии онҳо ба ҳисоб меравад. Назорат ва идоракунии ғафсии пардаҳо бо истифода аз усулҳои тайёркунӣ, аз ҳисоби қабати пардаҳои андозаашон маълум, дар композитҳои полимери бо кристалли моеъ диспергиронида шуда истифода шуда, вобаста мебошад. Бинобар он дар қори мазкур ғафсии намунаҳо бо истифода аз микрометр (бо саҳеҳии 0,01 мм) чен карда шудааст, ки дар аксари мавридҳо ғафсии намунаҳо тақрибан 20-30 мкм буданд.

### **2.3. Усулҳои муайян кардани хосиятҳои механикии композитҳои полимерӣ**

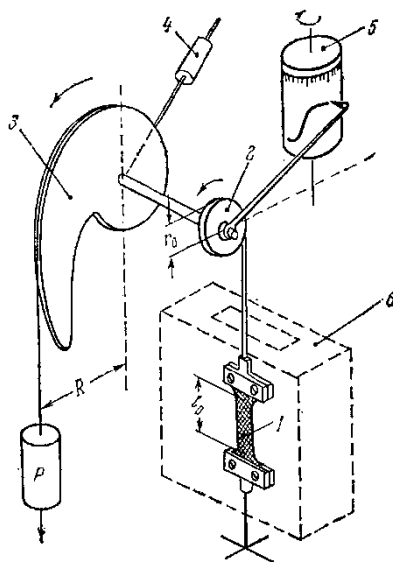
Мусаллам аст, ки дар айни замон муаммои мустаҳкам ва бехтар намудани хусусиятҳои полимерҳо ва маводҳои композитии полимерӣ, диққати олимону муҳаққиқон, технологҳо ва конструкторонеро, ки бевосита дар соҳаҳои гуногуни хоҷагии халқ кор мекунанд, ба худ ҷалб намудааст.

Дар доираи масъалаи мазкур, ҳангоми омӯзиши хосиятҳои механикии маводҳои таркибӣ, зарурияти нигоҳ доштани шиддати таъсиркунандаи доимии дар тағйирдихии намунаҳо як қатор ҳолатҳо (масалан, ҳангоми омӯзиши хазандагӣ; мустаҳкамии дарозмуддат; деформатсиякунии яксамта ва ғайра) ба миён меояд. Ҳамин тавр, якчанд вариантҳои дастгоҳҳо пешниҳод карда шуданд, ки тағйирёбии боркунии намунаро мувофиқи шароити деформатсияи он таъмин намуда, шиддатро (фишори таъсиркунандаро) доимӣ нигоҳ медорад [158]. Санҷиш ва ченкуниҳо дар ин самт бо истифода аз мошинаи механикии махсуси кашандаи навъи «Улитка» гузаронида шуданд, ки тарзи қори он дар [158, 181] муфассал нишон дода шудааст.

Инчунин, яке аз дастгоҳҳои мазкур дар [181] тавсиф шудааст, ки тарзи қори он дар [158, 181, 182] баён шудааст. Барои доимӣ нигоҳ доштани шиддат (фишор, қувва), дар намунаи ба таври яксамта ёзонидашуда, механизми фашанг истифода

мешавад, ки дар он яке аз китфҳои фашианг, ҳангоми дароз шуданаш то андозае кам мешавад (расми 2.3).

Дар расми 2.3 тарзи кори дастгоҳи мазкур муфассал нишон дода шудааст, ки дар он элементҳои асосии конструктивии дастгоҳ барои чен кардани параметрҳои бузургии дарозумрии миёна ва калон оварда шудааст. Намунаи дар омӯзиш қарорёфтаи 1, ба пардадораки махсус маҳкамшуда ба блоки 2 пайваست мешавад. Инчунин блоки радиуси доимии  $r_0$  дар як навард бо меҳвари ҳаракаткунандаи  $S$  саҳт карда мешавад. Қад-қад профили контурии фишанги чингила чӯбчаи чандир мегузарад, ки ба он бори механикӣ (бор бардошта мешавад)  $P$ , ки қувваи кашишро муқаррар мекунад, овозон мешавад.



Расми 2.3. Тарзи дастгоҳ барои ченкунии мустаҳкамӣ ва дарозумрӣ [158]

Ҳангоми дароз кардани намуна ғарғараи 2 якҷоя бо меҳвари 3 ҷарх мезанад, ки дар натиҷа ин боиси кам шудани  $R$  дарозии китфи фишанги меҳвар ва дар ин маврид қувваи ба намуна таъсиркунанда мегардад. Бурриши фишанги меҳвар тавре таҳрезӣ шудааст, ки китфи  $R$  мувофиқи камшавии қисмҳои намуна тағйир меёбад.

Вобаста ба ин, барои намунаи якхела деформатсияшуда, дар мавриди доимӣ нигоҳ доштани ҳаҷми он, бурриши кӯндалангии  $S$  бо шиддати нисбӣ ба таври зерин коҳиш меёбад:

$$S = S_0 \frac{1}{1 + \varepsilon},$$

дар ин ҷо  $S_0$  – буриши ибтидоӣ.

Ҳангоме, ки намуна зери таъсири қувваи доимӣ  $F$  дароз карда мешавад, шиддати воқеӣ  $\sigma$  меафзояд:

$$\sigma = \frac{F}{S} = \frac{F}{S_0}(1 + \varepsilon).$$

Талаботи доимӣ будани шиддат бо тағирёбии минбаъдаи бузургии қувва, ҳангоми дароз шудани он, қонеъ карда мешавад:

$$F(\varepsilon) = \frac{F_0}{1 + \varepsilon}.$$

Дар дастгоҳи фишангӣ қувва бо ифодаи зерин баробар мегардад:

$$F = P \frac{R}{r_0}.$$

Аз ин рӯ, барои қонеъ кардани шарт  $\sigma = \text{const}$ , китф бояд бо афзоиши шиддат кам шавад:

$$R = R_0 \frac{1}{1 + \varepsilon},$$

дар ин ҷо  $R_0$  – дарозии ибтидоии китф.

Дар корҳои [181, 182] буррихи фишанги ҳаракаткунанда ҳисоб карда шудааст, ки мувофиқати шарт  $\frac{R}{R_0} = \frac{1}{1 + \varepsilon}$  - ро таъмин мекунад ва муодилаи бурриши фишанг дар координатҳои кутбӣ ҳосил шудааст:

$$\rho = \frac{R_0}{1 + \varepsilon} \sqrt{1 + \left( \frac{r_0}{l_0(1 + \varepsilon)} \right)^2},$$

ки дар ин ҷо  $l_0$  - дарозии ибтидоии қисми якхелаи намуна аст.

Интихоби параметрҳои асосии дастгоҳҳо вобаста аз хосиятҳои маводи таҳқиқотии омӯзишӣ метавонад ба андозаи зиёде фарқ кунад. Дар ин самт маълумотҳои муфассал дар кори [158] оварда шудаанд. Татбиқи дастгоҳ бо гардиши максималии то  $270^\circ$  амалан осон мебошад. Вобаста ба таъмини саҳеҳӣ ва зарурияти истехсолӣ, бояд андозаҳои фишанги ҳаракат кунанда нисбатан калон

бошанд. Алоқамандии китфҳои  $\frac{R_0}{r_0}$  мувофиқи ин шартҳо дар доираи аз 5 то 10 интихоб карда мешаванд.

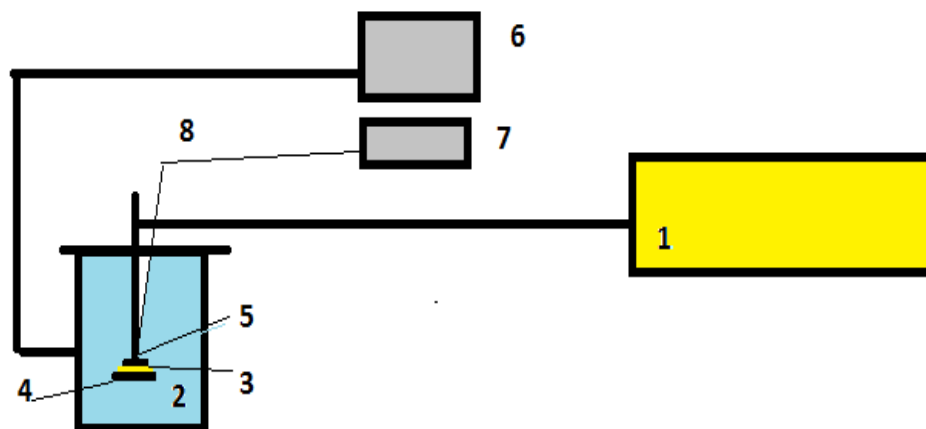
Ҳамин тавр, пас аз тайёр кардан дастгоҳ, фишанг бодиккат мувозинат карда мешавад. Бо танзими мавқеи муқобилвазн (расми 2.3, ишораи 4) мувозинати озод ба миён меояд: ҳангоми гардиши фашанг он мувозинатро дар мавқеъҳои гуногуни дилҳоқ бояд нигоҳ дорад. Вазни кашиш ва дораки болоӣ бо намуна бо вазни дар кутри (диски) коаксиалии иловагӣ бо фашанг овезон шуда ҷуброн карда мешавад.

#### **2.4. Усулҳои муайянкунии хосиятҳои электрофизикии маводҳои таркибии полимерӣ**

Таҳлили адабиётҳои соҳавӣ нишон медиҳанд, ки барои омӯзиши хосиятҳои электрофизикии (диэлектрикии) маводҳои таркибии полимерӣ якчанд усулҳои классикӣ ва муосир истифода мешаванд [183–185].

Асосан, ҳама гуна ченкуниҳо дар самти таъсири майдони электромагнитӣ ба мавод метавонад барои муайян кардани нуфузпазирии диэлектрикӣ ( $\epsilon$ ) ва тангенс кунҷи талафёбии диэлектрикии ( $\text{tg}\delta$ ) модда хизмат кунад. Доир ба ин дар басомадҳои паст соддатарин таъсири мутақобилаи майдони электрии конденсатор бо моддае мебошад, ки конденсаторро пур менамояд. Аз ин рӯ, тамоми усулҳои чен кардани қобилияти нуфузпазирии диэлектрикии моддаҳо дар басомадҳои паст бо назардошти тағйири тавоногӣ ҳангоми ба конденсатор ворид намудани моддаи таҳқиқ шаванда, ки то андозае кам мешавад. Усулҳои гуногуни муайянкунии тағйирёбии ғунҷоиш ва инчунин ченкунии нуфузпазирии диэлектрикии моддаҳо мавҷуд мебошанд [185]. Дар алоқамандӣ бо ин, усули пули ченкунанда имкон медиҳад, ки гузаришҳои диэлектрикии моддаҳо бо саҳеҳияти баланду назаррас чен карда шаванд. Барои ченкунии нуфузпазирии диэлектрикии ( $\epsilon$ ) мавод одатан ченкунии ғунҷоиши электрии ҳаҷми муайяни баъзе модда, аз ҷумла метавонад ячейкаи кристалли моеъгӣ низ истифода бурда шавад. Инчунин, дар дастгоҳҳои гуногуни электрӣ ва электронӣ бештар конденсаторҳои электрӣ истифода мешавад. Аз ин рӯ ченкунии ғунҷоишии электрӣ яке аз намудҳои асосӣ ва маъмултарини ченкуниҳои электрӣ ба ҳисоб меравад. Ҳамин тариқ, дар доираи

корҳои дар ин самт иҷро гардида, барои муайян кардан ва чен кардани параметрҳои нуфузпазирии диэлектрикӣ ( $\epsilon$ ) ва тангенс кунчи талафи  $\text{tg}\delta$ , дар кори мазкур усули пули ченкунанда истифода шудааст.



**Расми 2.4.** Тарҳи принципалии таҷҳизоти ченкунии параметрҳои электрӣ:  
 1 Пули чараёни тағйирёбанда Р 5079; 2- камераи гармкунанда; 3- намунаи пардаи полимери КМ дошта; 4- электроди поёнии ячейка; 5- электроди болоии ячейка;  
 6- танзимкунаки шиддат; 7 – дастгоҳи рақамӣ барои ченкунӣ ва идоракунии ҳарорат; 8 – термопара.

Муайян намудани параметрҳои нуфузпазирии диэлектрикӣ ( $\epsilon$ ) ва тангенс кунчи талафёбии диэлектрикии ( $\text{tg}\delta$ ) пардаҳои полимери кристалли моеъ дошта дар басомади доимии 1 кҲс бо истифода аз пули чараёни тағйирёбандаи тамғаи Р 5079 ва Р 4053 анҷом дода шудааст.

Тавре аз [186, 187] маълум аст, дар басомадҳои зиёда аз 100 Ҳс, ҳатогиҳои назаррас дар ченкунии параметрӣ  $\epsilon$  ва  $\text{tg}\delta$  метавонад тавассути ғунҷоиши элементҳои паразитии дастгоҳи пули ченкунӣ ва ҳуди намуна нисбат ба сатҳ, инчунин ғунҷоиши ноқилҳои таъминотӣ, ворид карда шавад.

Дар ибтидои таҷриба, як ячейкаи ченкунӣ бидуни намунаҳо ба пули чараёни тағйирёбандаро таъминкунанда ва параметрҳои  $C_1$  ва  $\text{tg}\delta_1$  пайваст карда мешавад. Баъдан, барои намунаҳои пардаи дар як ячейкаи цилиндрӣ (байни ду электродҳои металлӣ) ҷойгир карда шуда, бузургҳои  $C_2$  ва  $\text{tg}\delta_2$  чен карда мешаванд.

Параметри  $C_1$  бо ифодаи зерин муайян карда мешавад:

$$C_1 = C_n + C_o,$$

ки дар ин чо  $C_n$  – ғунҷоиши паразитии намунаҳои нисбӣ ва ғунҷоиши васлкунӣ,  $C_o$  – ғунҷоиши ячейка бо назардошти ғафсии намуна буда тавассути формулаи

$$C_o = 0.0695 \frac{d^2}{b},$$

ифода меёбад;

дар ин чо  $b$  – ғафси намуна,  $d$ - диаметри электроди металлӣ (см). Параметри  $C_2$  аз баробарии зерин ёфта мешавад:

$$C_2 = C_n + C_x,$$

ки дар ин чо  $C_x$ - ғунҷоиши мураккаби намуна аст. Қимати  $C_x$ - ро аз зерин  $C_x = \varepsilon C_o$  мумкин аст.

Аз ифодаи мазкур  $\varepsilon$ - ро муайян карда менависем:

$$\varepsilon = 1 + \frac{C_2 - C_1}{C_o}.$$

Тавоноии пароканиш дар ячейкаи бо намуна буда, ба суммаи тавоноии ячейкаи бе намуна ва худӣ намуна баробар аст, бинобар ин

$$C_x \operatorname{tg} \delta_x = C_2 \operatorname{tg} \delta_2 + C_1 \operatorname{tg} \delta_1.$$

Агар  $C_1 < C_x$  ва  $\operatorname{tg} \delta_2 > \operatorname{tg} \delta_1$  бошад, дар ин маврид баробарии охири намуди зеринро мегирад:

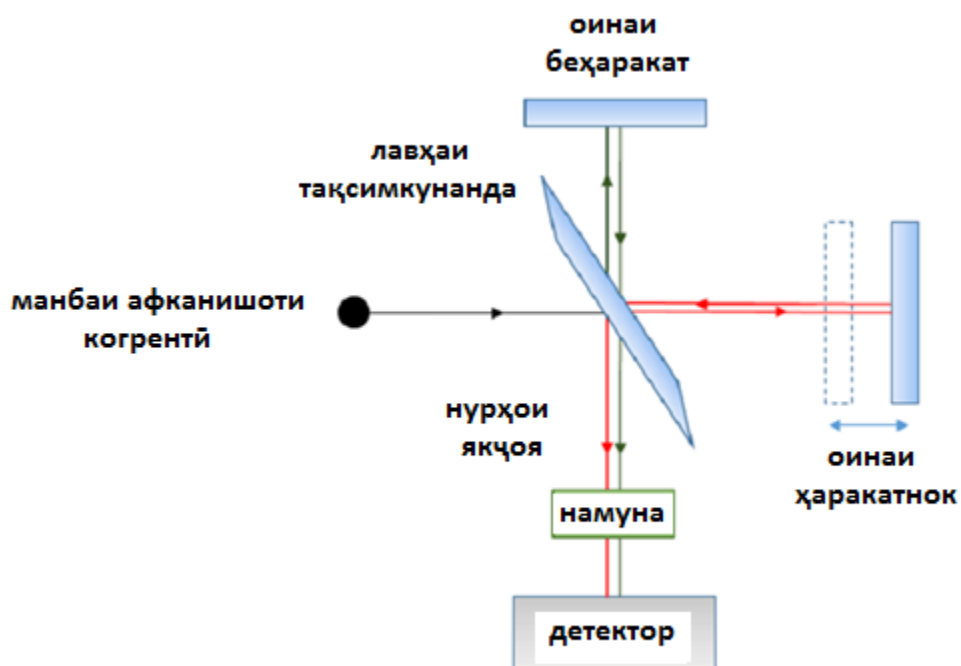
$$\operatorname{tg} \delta_x = \frac{C_2}{C_x} \operatorname{tg} \delta_2.$$

## 2.5. Усули спектроскопияи инфрасурх (ИС)

Спектроскопияи инфрасурх (ИС) як баҳши спектроскопия мебошад, ки гирифтани ва омӯзиши спектрҳои инфрасурхи (басомади лаппишҳои хастаҳои атомҳои таркиби молекулаҳо) моддаҳоро дар бар мегирад ва асосан ба омӯзиши спектрҳои молекулии фӯрубурд алоқаманд мебошад, зеро аксари спектрҳои

лапиш ва чархиши молекулаҳо дар минтакаи инфрасурх ҷойгир мебошанд. Ҳамин тавр, усули спектроскопияи ИС яке аз усулҳои эътимоднок ва самарбахши омӯзиши сохтор ва хосиятҳои молекулаҳои бисёратома, муҳимтарин усули физикии омӯзиши ҳаракати конформатсионӣ, таъсири мутақобилаи байнимолекулӣ ва сохтори модда ба ҳисоб меравад [188].

Дар қори мазкур аз дастгоҳи спектрофотометрии ИС Фурйеи тамғаи IRAffinity-1, (истехсоли Япония) истифода бурда шудааст. Тарҳи оптикӣ спектрофотометрии ИС Фурйе дар расми 2.5 оварда шудааст. Маълум аст, ки элементҳои асосии спектрофотометрии ИС Фурйе интерферометрии Майкелсон ба ҳисоб меравад, ки он ба таври зерин кор мекунад. Нури когерентӣ ба тақсимкунандаи рӯшноӣ меафтад, ки дар натиҷа ду шуои тақрибан якхела ба вуҷуд меояд. Минбаъд ҳар яке аз ин шуоҳо аз оинаи худ инъикос ёфта, ба ҷудокунаки нур бармегарданд, ки дар он шуоҳо ба ҳам мепайванданд, интерференсия мешаванд ва ба детектор меафтанд [188, 189].



**Расми 2.5. Схеми оптикӣ спектрофотометрии ИС Фурйе**

Яке аз оинаҳои интерферометр ҳаракаткунанда аст: мавқеи он доимо тағйир меёбад ва аз ин сабаб фарқи роҳи тағйирёбанда ба амал меояд. Вобаста ба

бузургии фарқияти роҳ, нурҳо дар фаза ё антифаза пайваст карда мешаванд, ки ба интерференсия оварда мерасонанд. Дар спектрофотометри ИС Фурйе, намунаи мавриди омӯзиш қарор гирифта, дар байни интерферометр ва детектор ҷойгир аст. Вақте ки афканишоти монохроматӣ аз интерферометр мегузарад, сигнал шакли синусоидаро мегирад, ки басомади он ба адади мавҷ вобаста аст. Аммо, дар спектрометрҳои ИС афканишоти полихроматии инфрасурхро истифода мебаранд, аз ин рӯ синусоидаҳои басомадҳои гуногун ба ҳам меоянд, то як шакли мураккабе бо номи интерферограмма ба вуҷуд оранд.

Бо истифода аз табдилдиҳандаи Фурйе интерферограмма ба спектри инфрасурх табдил додан мумкин аст. Вобаста ба ин спектрофотометрҳои ИС-и Фурйе одатан дар речаи якшӯроӣ кор меkunанд: ду спектр бо навбат сабт карда мешаванд (бо намуна ва ҳангоми набудани намуна) ва фарқияти онҳо спектри ҷаббиши намунаро ташкил менамояд.

Ҳамин тавр, афзалиятҳои асосии спектрофотометрҳои ИС-и Фурйе чунинанд:

- тамоми дарозии мавҷҳо дар як вақ сабт карда мешаванд;
- аз сабаби набудани роғҳо ба детектор сели интенсивноки рӯшноӣ меафтад;
- ба сифати стандарти дарозии мавҷи дохилӣ лазери гелий-неонӣ истифода мешавад;
- спектрҳо дар речаи ҷамъунӣ сабт намудан имконпазир аст.

Таҳти мафҳуми речаи ҷамъунӣ маънои сабти чандқаратаи спектри як намуна ва коркарди математикии минбаъдаи онҳо мефаҳманд, ки дар натиҷа интенсивнокии шӯъ нисбат ба спектр кам шуда, интенсивнокии сигналҳо зиёд мешавад.

Спектрометрҳои бо табдилдиҳандаи Фурйе таҷҳизонида шуда метавонанд дар як сония то 50 спектрро сабт намоянд, дар ҳолате, ки дар асбоби дисперсионӣ барои сабти як спектр тақрибан 20 дақиқа вақт лозим аст. Сифати спектрҳо ва саҳеҳияти таҳлил низ аз ҳисоби истифодаи речаи ҷамъунӣ (ба 2-3 дараҷа) беҳтар мешавад [188].



## **2.6. Усули микроскопии поляризатсионӣ барои таҳқиқи пардаҳои полимерии кристалли моеъ дошта**

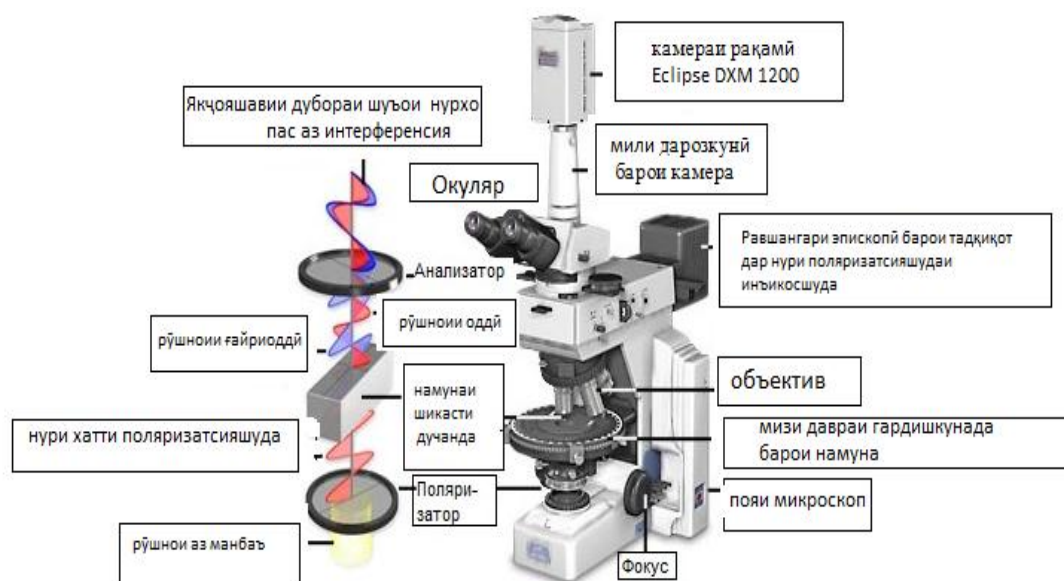
Микроскопияи поляризатсионӣ дастгоҳи махсуси универсалие мебошад, ки барои мушоҳидаҳои гуногуни кристаллино оптикӣ истифода мешавад. Таҷҳизотҳои сершумор имкон медиҳанд, ки тамоми хусусиятҳои оптикии кристаллҳои моеъ омӯхта шаванд ва то андозае тамоми доимӣҳои оптикӣ чен карда шаванд. Дастгоҳи микроскопи поляризатсионӣ аз он сабаб универсалӣ ба ҳисоб меравад, ки доираи истифодаи он нисбат ба дастгоҳҳои дигар ба дарачаи хеле ночиз аз андоза ва сифати намунаҳои таҳқиқотӣ вобаста аст. Ин аҳамияти махсуси микроскопи поляризатсиониро барои истифодаи амалии он дар кристаллшиносии оптикӣ шарҳ медиҳанд, зеро одатан дар амалия бо кристаллҳои хеле хурд ва кристаллҳои моеъ кор бурдан лозим меояд.

Микроскопи поляризатсионӣ аз микроскопи анъанавӣ (биологӣ) на танҳо бо мавҷудияти асбобҳои поляризатори рӯшноӣ, балки бо он фарқ мекунад, ки он асосан барои ченкунии гуногуни кристаллино оптикӣ пешбинӣ шудааст, микроскопи биологӣ бошад, асосан танҳо барои мушоҳидаи микрообъектҳо истифода мешавад.

Дар расми 2.6 сохти аслии микроскопи поляризатсионии тамғаи ПОЛАР-2 нишон дода шудааст. Нури поляризатсияшудаи хаттӣ пас аз поляризатор тавассути конденсор ба намунаи анизотропӣ равона карда мешавад, ки дар он рӯшноӣ ба ду нури мутақобилан ортогоналӣ тақсим мешавад. Ин ду нурҳо баъди гузаштан аз кристалл фарқи муайяни роҳ пайдо мекунанд ва дар фокуси линза, ки анализатор дар он ҷо воқеъ аст, ҷамъ мешавад.

Ҳарду нурро анализатор ба як ҳамвории муайян меорад, зеро танҳо дар ҳамин шароит онҳо ба ҳамдигар таъсир менамоянд. Ҷиҳати зиёд намудани возеҳият тирҳои оптикии анализатор ва поляризатор таҳти кунҷи  $90^{\circ}$  гузошта мешаванд. Мизи намунаро дар атрофи меҳвари оптикии микроскоп  $360^{\circ}$  гардиш кунонидан мумкин аст. Ҳамзамон микроскопи мазкур линзаи иловагии Бертран

дорад, ки ҳангоми мушоҳида дар зери равшани коноскопӣ ба системаи оптикии микроскоп дохил карда мешавад.



**Расми 2.6 Схемаи микроскопи поляризацсионӣ**

Мусаллам аст, ки усули мазкур хеле содда, самаранок, эътимоднок ва аёнӣ мебошад [1]. Ҳамин тавр, бо истифода аз микроскопи оптикии поляризацсионӣ сохтори шпиренро бо хусусиятҳои нуқсонҳои хос, ба монанди дисклинацсияҳо ва симметрияи фазаҳоро аз намуди онҳо мушоҳида кардан мумкин аст, ба мисли хусусиятҳои нуқсонҳои (дисклинацсияҳои) фазаи нематикӣ.

Самти самтгирии директорро дар сохтори якхелаи намунаи кристалли моеъ метавон бо истифода аз параметри коноскопия, яъне бо мушоҳидаи тайёри дар нурҳои ба ҳам наздикшаванда муайян кард. Дар ин самт аз рӯи табиати симметрияи мушоҳида шуда баъзе элементҳои симметрияи фазаи кристалли моеъро муайян кардан мумкин аст.

Аксар вақт усули омехташавии моддаҳои гуногун хеле муфид ба ҳисоб меравад [14]. Ҳамин тавр, танҳо фазаҳои якхела, ки дар як моддаи таҳқиқотии бо ҳамдигар алоқаманд ҷой доранд, масалан нематик бо нематикҳо ва дигар кристаллҳои моеъ ба осонӣ омехта мешаванд.

Бинобар ин, ба сифати меъёр моддаи маълумро истифода бурда, оид ба сохтори моддаи нав бе истифода бурдани таҳлили рентгени дифраксионӣ ё дигар

усулҳои мураккаб ва муддати дарозро талабкунанда маълумот гирифтани мумкин аст. Масалан, бо истифода аз усули мазкур муайян карда шудааст, ки моддаи тозаи 4-пентил-4'-сианобифенил дар температураи аз 22<sup>0</sup>С поён фазаи кристаллӣ, дар ҳудуди 22-35<sup>0</sup>С фазаи кристалли моеи нематикӣ ва болотар аз 35<sup>0</sup>С фазаи изотропиро дорад. Бо чен кардани ҳарорати гузариши фазаҳо ва аз намуна ба намуна бо ҳиссаи аз 1 то 0 гузаштан, диаграммаи фазавии моддаи таҳқиқшавандаро ҳангоми C=0 будан ҳосил кардан мумкин.

Микроскопи оптикӣ одатан барои омӯзиши хусусиятҳои амалии пардаҳои полимерии кристалли моеъ дошта хеле дастгоҳи зарурӣ ва эътимоднок ба ҳисоб меравад. Барои қатраҳои алоҳида, мушоҳида намудани текстураҳо ва шакли (конфигуратсияҳои) қатраҳо басо зарур мебошад. Дастгоҳи мазкурро инчунин барои муайн кардани тағйирёбии директори қатраҳо низ истифода бурдан мумкин аст.

Инчунин дар рафти таҷрибаҳо камераҳои рақамӣ барои интиқол додани тасвири объекти омӯхта шаванда, ки тавассути микроскоп ҳосил карда шудааст, ба экрани компютер истифода шуданд. Барномаи махсуси дар камера мучаҳҳазшуда имкон медиҳад, ки тасвирҳоро дар қолаби видеой ва аксӣ мушоҳида, таҳрир, захира ва чен карда шаванд.

## **БОБИ Ш. ЧЕНКУНИҲОИ ТАҶРИБАВИИ ОИД БА ПАРАМЕТРҲОИ МЕХАНИКӢ ВА ЭЛЕКТРОФИЗИКИИ ПАРДАҲОИ ПОЛИМЕРИИ КРИСТАЛЛИ МОЕЪДОШТА**

### **3.1. Омӯзиши хосиятҳои мустаҳкамии пардаҳои композитии дар заминаи полимер ва кристалли моеъ асосёфта**

Нисбати омӯхтани хосиятҳои механикӣ, физикӣ ва электрофизикии композитҳои дар заминаи полимер ва кристалли моеъ асосёфта ҳам дар адабиёти дохилӣ ва ҳам хориҷӣ диққати махсус дода мешавад. Аммо саволҳои асосӣ дар ин самт ба омӯзиши сохтор ва хусусиятҳои мустаҳкамӣ, пластикӣ, сахтӣ ва тобоварӣ ба фарсудашавии ҳуди полимери матритсавӣ алоқаманд мебошанд. Дар ин самт вазифаи дигари то андозае диққатҷалбкунанда ва актуалӣ бо омӯхтани хусусияти деформатсияи тамоми маводи композитӣ, бахусус қобилияти тобоварӣ ба таъсири омилҳои берунаи маводҳои дорои сохтори геометрии мураккаб ва хосиятҳои муайяни механикӣ вобаста аст.

Вобаста ба масъалаҳои мазкур дар ин боб натиҷаҳои ченкунии маълумотҳои таҷрибавӣ оид ба таҳқиқи хосиятҳои механикӣ ва электрофизикии пардаҳои композитие, ки дар заминаи полимер ва қатраи кристалли моеъ асос ёфтаанд таҳлил карда мешавад.

Ҳамин тавр, барои тағйир додани хосиятҳои механикӣ, термофизикӣ ва оптикии полимерҳо одатан ба онҳо пуркунандаҳо ворид карда мешаванд, ки бузургии мустаҳкамии онҳоро ба таври назаррас тағйир медиҳанд. То ҳанӯз ҳодисаи мазкур норавшан мебошад: яъне дар баъзе мавридҳо ворид намудани пуркунанда мустаҳкамӣ зиёд мешавад, дар дигар мавридҳо бошад баръакс кам мешавад. Барои дарки масъалаи мазкур ва сабабҳои ин падида, мо вобастагии мустаҳкамии композити полдимериро аз шакл ва андозаи қатраҳои пуркунанда омӯхтем.

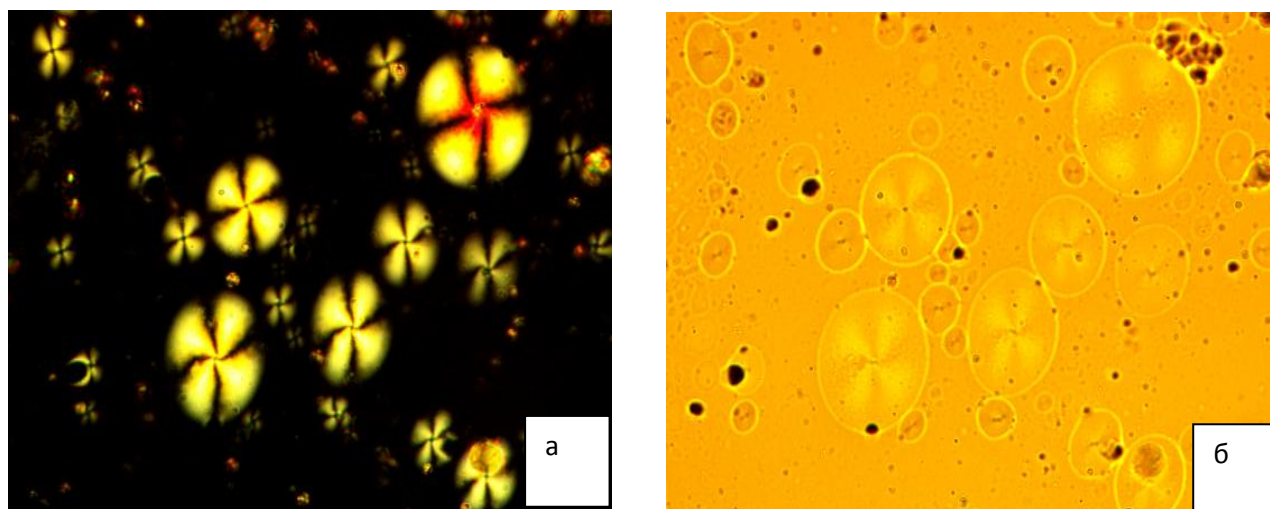
Марҳилаи якуми кор аз муайян кардани хусусиятҳои физикуи механикӣ ва хосиятҳои мустаҳкамии пардаҳои полимерии кристалли моеъ

дошта бо тағйир додани концентратсияи яке аз компонентҳо иборат буд. Пеш аз таҳлили натиҷаҳо ва далелҳои зимни таҷрибаҳо ба даст овардашуда, мехоҳем доир ба як қатор масъалаҳои асосӣ ва нозуқиҳои ҷойдошта ибрази назар намоем. Хусусиятҳои мустаҳкамии пардаҳои полимерии спирти поливинилил (СПВ) ва поливинилбутирал (ПВБ) пештар омӯхта шуда ва аз ҷиҳати илмӣ асоснок шарҳ дода шуда буданд. Илова ба муайян кардани хусусиятҳои физикавию механикии СПВ ва ПВБ дар ҳолати ибтидоӣ, ин хосиятҳо дар ҳарорати баланд [190, 191], дар ҳолатҳои ғавқуллода ва шиддатнокии баланд [191] ва зери таъсири афканишоти ултрабунафш УБ ва  $\gamma$ -афканишот омӯхта шудаанд [190].

Бо вуҷуди натиҷаҳои дар ин самт мавҷуда ва шарҳи илмӣ онҳо доир ба хусусиятҳои физикию механикии СПВ ва ПВБ, тадқиқоти мазкур хусусиятҳои хоси худро дорад. Масъалаҳои мазкур чунин ҷиҳатҳоро дар бар мегирад: якум, ба назар гирифтани шароити оптималии гузориши таҷрибаҳо, дуюм, ба ин полимерҳо қатраҳои кристалли моеъ аз синфи алкилсианобифенил ворид карда мешавад, ки ин сохторҳои ҳосилшуда диққати муҳаққиқон ва тадқиқотчиёни соҳаи технологияи истеҳсоли маводҳои дисплей ва оптоэлектроникиро ба худ ҷалб намудааст. Инчунин, оид ба парешхӯрди рӯшноӣ дар пардаҳои полимерии кристалли моеъ дошта ҳангоми мавҷудияти майдонҳои электрӣ ва магнитӣ, ки ба самтгирии минбаъдаи майдони директори нематик меорад, шумораи назарраси корҳо иҷро гардидаанд [78, 130, 138]. Лекин масъалаи хосиятҳои механикӣ вобаста ба ҳолатҳои дар боло зикргардида, бо назардошти ташаккули дигаргуниҳои нави конфигуратсия, таҳти омӯзиши ҳамачониба қарор доранд. Бахши мазкур маҳз дар ҳамин самти тадқиқот равона карда шудааст.

Дар доираи масъалаи мазкур, барои муайян кардани андоза, шакл ва координатаҳои қатраи кристалли моеъ (КМ) дар қабатҳои якхелаи пардаи полимерӣ (СПВ ва ПВБ) бо истифода аз микроскопи поляризатсионии тамғаи POLAR-2, таҷрибаҳо дар ду ҳолат гузаронида шуданд. Дар расми 3.1.1 як ҷузъи микрофотографияҳои пардаҳои полимерии кристалли моеъ

дошта (ППКМ) дар ҳолати амудӣ будани геометрияи поляризатор (торик) ва ҳангоми набудани анализатор, оварда шудаанд.



Расми 3.1.1. Ҷузъи ППКМ дар геометрияи поляризаторӣ арзӣ (торик) (а) ва ҳангоми намудани анализатор (б)

Тавре, ки дида мешавад, дар ҳолати геометрияи поляризаторҳои арзӣ (торик) қатраҳои андозаи микронӣ дошта, сохторҳои гуногунро соҳиб мебошанд (расми 3.1.1, а). Ташаккули андозаи муайяни қатра ба таври назаррас аз усули тайёр кардани маҳлули таркибӣ вобаста аст. Муаммои мазкур бевосита ҳангоми омехта кардани компонентаҳои полимер ва кристалли моеъ бо ҳамдигар амалӣ карда мешавад. Вобаста аз суръат ва вақти омехтакунии шакли андозаҳои гуногун қатраҳо ба вуҷуд меоянд. Баробари зиёд намудани суръати омехтакунии қатраҳои андозаи калондошта ба қатраҳои хурдтар ҳудо мешаванд ва шакли онҳо ба намуди сферикӣ боқӣ мемонанд.

Ҳамин тавр, дар ҳолати набудани анализатор, танҳо хатҳои дисклинатсионӣ дар атрофи қатра мушоҳида карда мешаванд, ки дар сарҳади байни полимер ва кристалли моеъ ҷойгиранд (расми 3.1.1, б). Ҳангоми дар зери таъсири бори динамикӣ деформатсия намудани полимер ду тарзи қатраҳои нематикиро мушоҳида мекунем: аввал қатраҳои шакли сферикӣ дошта ба шакли эллипсоидалии нимтири оптикиаш  $a$  ва  $b$  дошта мубаддал мешаванд ва ин нимтирҳо аз рӯи шакли қатра муайян карда мешаванд.

Деформатсияе, ки дар вақти яксамта кашишдихӣ ба вучуд меояд, хусусияти остонӣ дорад, яъне ҳудуди бӯҳронӣ қатраҳои нематикӣ деформатсия нашударо аз деформатсия шуда ҷудо мекунад.

Нишондоди ғафсии бӯҳронии пардаи полимерӣ аз рӯи радиуси ҳудуди бӯҳронӣ ( $z_c$ ) муайян карда мешавад:

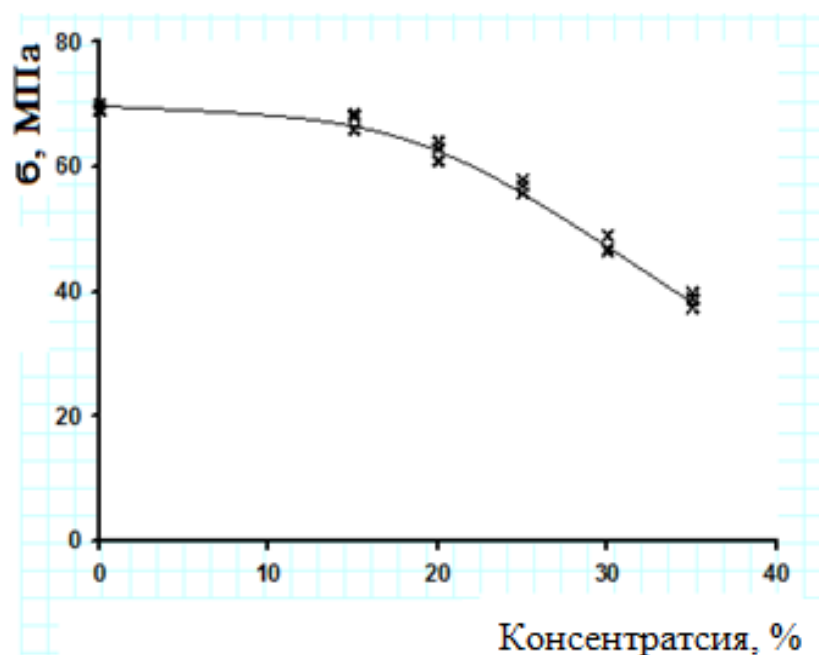
$$z_c = \frac{r_c^2}{2R},$$

дар ин ҷо  $R$ -радиуси қавӣ мебошад.

Маълум шудааст, ки баланд шудани дараҷаи деформатсия боиси паст шудани ғафсии бӯҳронии пардаи полимерӣ мегардад. Мувофиқи қонуни Фредерикс [65, 101], бузургии  $r_c$  дар ҳарорати доимӣ бетағйир мемонад ва доимии чандрии  $K_i$ -ро ба бузургии анизотропияи диамагнитии  $\Delta\chi$  барои воҳиди ҳаҷми нематик алоқаманд менамояд.

Роҷеъ ба масъалаи мазкур натиҷаи ҷенкуниҳо дар шакли графикаи вобастагии бузургии мустаҳкамии механикӣ пардаҳои полимерии кристалли моеъ дошта аз концентратсияи пурқунанда (7СВ) дар расми 3.1.2 оварда шудаанд. Концентратсияи кристалли моеи нематикӣ 7СВ дар таркиби матритсаи полимерӣ (СПВ ва ПВБ) тибқи шартҳои техникӣ интихоб карда шудааст ва дар боби 2-и рисолаи мазкур нишон дода шудааст.

Дида мешавад, ки барои намунаҳое, ки дар асоси матритсаи СПВ сохта шудаанд, тағйирёбии параметри мустаҳкамии механикӣ бо зиёд шудани миқдори компонентаи кристалли моеи нематикӣ (КМН) 7СВ монотонӣ ва ғайрихаттӣ коҳиш меёбад. Аз таҳлили натиҷаҳои таҷрибавӣ бармеояд, ки мустаҳкамии механикӣ намунаҳои ҷенкардашуда дар ҳолати ибтидоӣ ба  $\sigma = 70$  МПа баробар аст. Айнан ҳамин параметр барои намунаҳое, ки 35% компонентаи кристалли моеи нематик (7СВ) доранд, дар ҳамон як шароити таҷрибавӣ ба 39,8 МПа баробар мебошад. Мутаносибан, пастшавии мустаҳкамии ҷунин намунаҳо (35%) дар муқоиса бо намунаҳои ҳолати ибтидоӣ тақрибан 43% -ро ташкил менамояд.



Расми 3.1.2. Вобастагии мустаҳкамии пардаҳои СПВ+7СВ аз консентратсияи компонентаи КМН 7СВ

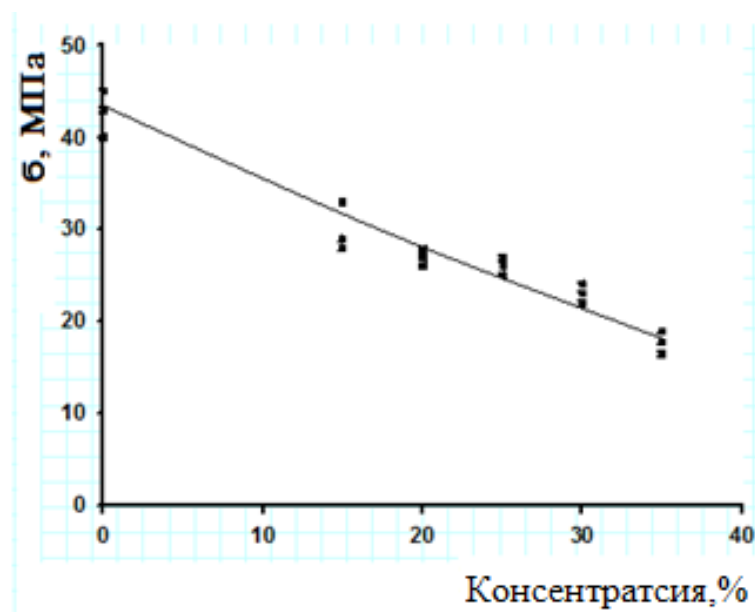
Чунин ченкуниҳои монанди таҷрибавӣ, инчунин барои пардаҳои композитӣ дар заминаи матритсаи ПВБ низ гузаронида шуданд, ки натиҷаҳои онҳо дар расми 3.1.3 нишон дода шудааст. Дидан мумкин аст, ки дар ин ҳолат, бо зиёд шудани консентратсияи компонентаи КМН (7СВ), пастшавии назарраси мустаҳкамӣ барои намунаҳои мавриди омӯзиш қарордошта мушоҳида мешавад. Мустаҳкамии намунаҳо барои пардаҳои ПВБ дар ҳолати ибтидоӣ  $\sigma=45$  МПа ва барои намунаҳое, ки 35% консентратсияи 7СВ доранд,  $\sigma=20$  МПа мебошанд, ки нисбат ба маводи дар ҳолати ибтидоӣ буда тақрибан 55% камтар аст.

Ҳамин тавр, агар ба назар гирем, ки барои матритсаҳои полимерии дар ҳолати ибтидоӣ, ки мо истифода намудем, бузургии мустаҳкамии механикӣ мутаносибан ба  $\sigma=63$  МПа барои СПВ [193] ва барои ПВБ  $\sigma=45$  МПа [193] аст, онгоҳ равшан мегардад, ки бузургии  $\sigma=70$  МПа барои намунаҳои ППКМ-и дар расми 3.1.2 ва бо матритсаи СПВ ва  $\sigma=45$  МПа дар расми 3.1.3 барои матритсаи ПВБ ба ҳам мувофиқат менамоянд.

Қатраҳои андозаи хурди микронӣ доштаи КМН –и 7СВ, ки дар қисми асосии матритсаи полимерӣ ба намуди фазаи алоҳида ворид шудаанд, нақши



микронуксонҳои шакл ва андозаи мушаххас доштара мебозанд (расми 3.1.1, а).



### 3.1.3. Вобастагии мустаҳкамӣ аз консентратсияи КМН (7СВ) барои пардаҳои ПВХ

Вобаста ба ин, ҳар қадар консентратсияи компонентаи КМН (7СВ) зиёд бошад, ҳамон қадар дар сатҳ ва ҳаҷми пардаҳои полимерӣ ҷавфҳои алоҳидаи гуногун дошта пайдо мешавад. Қатраҳои мазкур дар мавриди омӯзиши параметрҳои механикӣ, мутаносибан ба тезонидани раванди вайроншавии маводҳои таркибии полимерӣ дар зери бори динамикӣ сабабгори мегарданд.

Мувофиқи маълумотҳои [157], барои системаи маводҳои дукомпонента, вақте, ки омӯзиши таъсири мутақобилаи компонентҳои композит истисно карда мешавад, деформатсияи вайроншавӣ бо ифодаи зерин муайян карда мешавад:

$$\varepsilon = \varepsilon_m \cdot (1 - V_f^{1/3}),$$

ки дар ин ҷо  $\varepsilon_m$  – деформатсияи вайроншавии полимери матритсавӣ дар ҳолати ибтидоӣ,  $V_f$  – ҳаҷми қатраи микроскопии КМН 7СВ мебошад. Дар асоси ифодаи мазкур барои ба даст овардани маводи таркибии дорои қобилияти деформатсияи баланд, полимери матритсавии дарозшавиаш ниҳони баландро истифода бурдан зарур аст. Ҳамин тавр, масалан, дар

мавриди  $V_f=0,5$ , деформатсияи композит бояд аз полимери матритсавӣ дар ҳолати аввал чандин маротиба камтар бошад.

Дар кори [149], хусусиятҳои куллан фарқкунандаи пардаҳои полимери кристалли моеъдошта, ки қатраҳои КМ доранд, муфассал нишон дода шудаанд. Ҳамин тавр, дар концентратсияи нисбатан пасти КМ, маводи таркиби хусусияти пластикии худро нигоҳ медорад, лекин дар концентратсияи баландтарин бошад табиати деформатсия ниҳоят суст шуда зуд вайроншавӣ сар мешавад. Дар ин маврид якбора тақрибан 50% пастшавии дараҷаи деформатсияи мавод ба амал меояд. Чунин ҳолатҳо низ дар таҷрибаҳои кори мазкур мушоҳида шуданд: агар барои намунаҳои системаи СПВ пастшавии мустаҳками 43% бошад, пас барои системаҳои ПВБ ин параметр алақай ба 55% расидааст. Бинобар он, худуди концентратсияи хусусияти пластикии композитҳои тадқиқшаванда вобаста аз дараҷаи хусусияти деформатсияи матритсаи полимерӣ муайян карда мешавад. Роҷеъ ба масъалаи мазкур, баландшавии дараҷаи вайроншавии композитҳо дар асоси СПВ ва ПВБ, на аз рӯи маҳдудкунии хусусияти деформатсияшавии онҳо, балки бо дараҷаи концентратсияи КМН 7СВ муайян карда мешавад, ки чунин сохторҳо аз полимерҳои тоза ба таври кулӣ фарқ мекунанд.

Дигар хусусияти муҳимтарини тағйирёбии хосиятҳои полимерҳои пайваस्तкунанда дар шароити боргузори динамикӣ дар графикаи вобастагии мустаҳкамӣ аз концентратсияи компонентҳо дида мешавад. Чуноне, ки аз муқоисаи расмҳои 3.1.2 ва 3.1.3 дида мешавад, барои полимери матритсавии ПВБ он шакли хаттӣ рост дорад ва барои СПВ бошад он ғайрихаттӣ аст. Дар мавриди ченкуниҳои кори мазкур, бо назардошти хусусиятҳои гуногуни диаграммаҳои деформатсияи матритсаҳои полимери истифодашуда, ҷиҳати баланд намудани параметри эластикии маводҳо, ҳамчун пуркунандаи иловагӣ, яъне пластификатор (глитсерин) ба миқдори кам (0,05- 07% вазни нисбӣ) истифода бурда шудааст.

Агар миқдори пуркунандаи эластикӣ (пластификатор) аз меъёри муқарраршуда зиёд бошад, қисми охири диаграммаи деформатсия аз хати

дарози матритсавии полимери холис ва пурнашуда боло мегузарад. Раванди мазкур нишон медиҳад, ки қатраҳои КМН-и 7СВ дар якҷоягӣ бо матритсаи полимерӣ деформатсия шуда сохтори радиалиро ба биполярӣ (эллипсоидалӣ) табдил медиҳад.

Илова ба хусусиятҳои назарраси СПВ ва ПВБ, технологияи синтези нисбатан осони онҳо, боз як параметри муҳиме мавҷуд аст, ки ба мезофазаҳои алкилдор вобаста аст, яъне ба шаффофият ва нишондоди шикаст ҳангоми парешхӯрди рӯшноӣ мусоидат мекунад. Ҳамин тавр, афзалиятҳои дар боло зикргардидаи полимерҳои СПВ ва ПВБ имкон медиҳанд, ки дигар компонентҳо (алкилсианобифенилҳо, моддаҳои сурфактант, ҳалкунанда) ворид карда шуда, бо усулҳои бевосита физикӣ хусусиятҳои физикию механикии онҳо муайян карда шаванд.

### **3.2. Таъсири суръати боргузорӣ ба хосиятҳои мустаҳкамии пардаҳои полимерии кристалли моеъ дошта**

Маълум аст, ки суръати боркунии механикӣ ба параметрҳои хосиятҳои маводи композитро муайянкунанда таъсири калон мерасонад [195]. Дар шароитҳои муайян хосиятҳои механикии композитҳо, ки дар агрегатҳои гуногун ва дар шароити гуногуни боркунӣ ба даст оварда мешаванд, ба таври назаррас фарқ карда метавонанд – то 30%. Барои он, ки натиҷаҳои зимни таҷриба бадастовардашуда дар ҳисобкунӣҳои назариявӣ истифода шаванд, бояд тартиби истифодаи маълумотҳои таҷрибавиро дар ҳисобкунӣҳо кор карда баромадан лозим аст. Барои босамар истифода бурдани маводҳои композитӣ дар муҳите, ки ба шароити корӣ нисбатан наздиктар аст, оид ба хусусиятҳои механикии онҳо маълумотҳои саҳеҳу эътимоднок гирифтани хеле муҳим аст. Муаммояе, ки дар ин самт ба миён меояд, бо таъмини ченкунии дақиқи мустаҳкамӣ ва деформатсияи ҳудуди кори намунаҳои омӯхташаванда бевосита алоқаманд мебошад. Дар поён натиҷаҳои таҷрибавӣ, ки дар ҳолати суръати доимии боргузорӣ чен карда шудаанд оварда оварда шудаанд. Вобаста ба ин дар санчишҳо оиди самти ёзишдиҳии

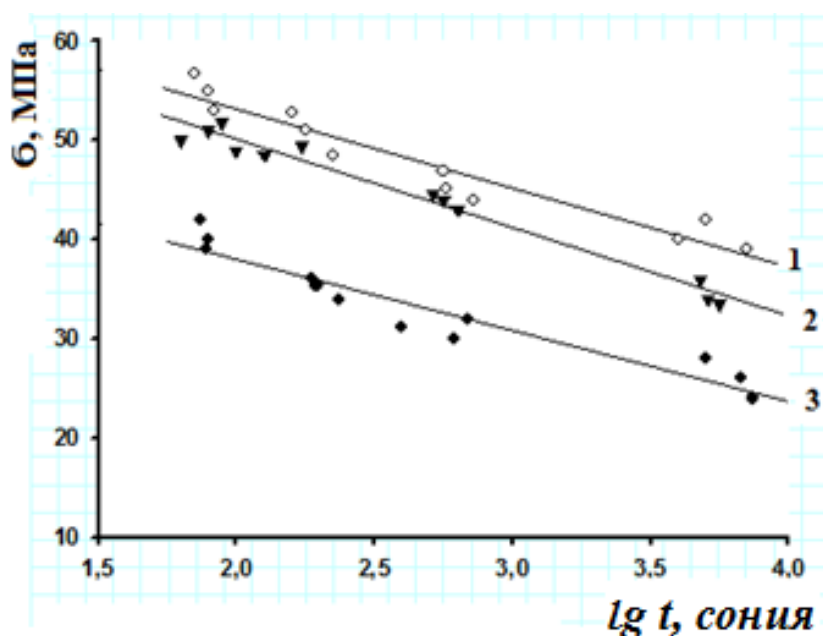
намунаҳои шакли мураккаб дошта [194, 195] ва усуле, ки ченкунии дақиқро дар намунае, ки деформатсияи худудии қорӣ дорад, истифода шудаанд. Саҳеҳияти ченкуниҳо ба  $\pm 1\%$  баробар мебошад.

Пардаҳои композитии СПВ ва ПВБ дар ҳолати ибтидоӣ ва дар ҳолати концентратсияҳои гуногуни компонентаи кристалли моеи нематикӣ 7СВ дошта омӯхта шудаанд. Натиҷаи таҷрибаҳо дар намуди графикаи вобастагии  $\sigma=f(t)$  дар системаи координатии нимлогарифмӣ дар расмҳои 3.2.1 ва 3.2.2 оварда шудаанд. Равандҳои асосии гузаронидани ченкуниҳои таҷрибавӣ чунин буданд. Пардаи полимерии омӯзишӣ дар дораки махсус мустаҳкам карда шуда ва бо усули динамикӣ яқсамта деформатсия карда шуд. Бо усули мазкур диаграммаи мустаҳкамӣ-деформатсия ( $\sigma=f(\epsilon)$ ), ки дар ҳисобкуниҳои мустаҳкамии композитҳо, дар шароити шиддатнокии баланд хобидаанд истифода бурда шуд.

Натиҷаҳо нишон медиҳанд, ки барои намунаҳои СПВ дар ҳолати ибтидоӣ ва дар ҳолати концентратсияи СПВ 7СВ (25%) будан вобастагии мазкур хусусияти хаттиро доро мебошад. Барои намунаҳои СПВ дар ҳолати ибтидоӣ (хати 1) бузургии мустаҳкамӣ  $\sigma$  ҳангоми суръати баланди деформатсиякунӣ ба  $\sigma=65,5$  МПа, ва дар ҳолати суръати сусти боркунӣ чунин нишондод ба  $\sigma=46$  МПа баробар мешавад. Ҳамин тариқ, камшавии бузургии мустаҳкамӣ дар чунин шароити таҷриба тақрибан ба 29,7% мерасад. Дар расми 3.2.1 вобастагии  $\sigma=f(t)$  намунаҳои пардаҳои полимерии кристалли моеъ дошта дар шароити гуногуни суръати деформатсия (хати 1-10 МПа/с, хати 2-1 МПа/с) оварда шудааст. Дар ин ҷо 1 ва 2 нишондодҳои миёнаи маълумотҳои 4 намунаҳои омӯзиши барои ҳар як мавриди таҷриба оварда шудаанд. Фарқияти мустаҳкамии байни намунаҳои пардаҳои полимерии кристалли моеъ дошта тақрибан 30% мебошад. Ин ба он вобаста аст, ки бузургии вайроншавии чамъшуда дар намунаҳои зерин боркунӣ қарордошта аз суръати онҳо вобаста аст.

Дар мавриди компоненти КМН бо таносуби 25% дар ҳолати суръати баланди деформатсияи нишондоди  $\sigma=38$  МПа ва барои суръати сусти

боркунӣ (деформатсия)  $\sigma = 26,6$  МПа. будан камшавии бузургии мустаҳкамӣ ( $\sigma$ ) 30% -ро ташкил медиҳад. Таҳлили муқоисавии камшавии мустаҳкамӣ барои як қатор намунаҳои СПВ дар ҳолати ибтидоӣ ва дар ҳолатҳои гуногуни доштани компонентаи КМН нишон дод, ки дар ҳолати дуум камшавӣ ду баробар зиёд аст.

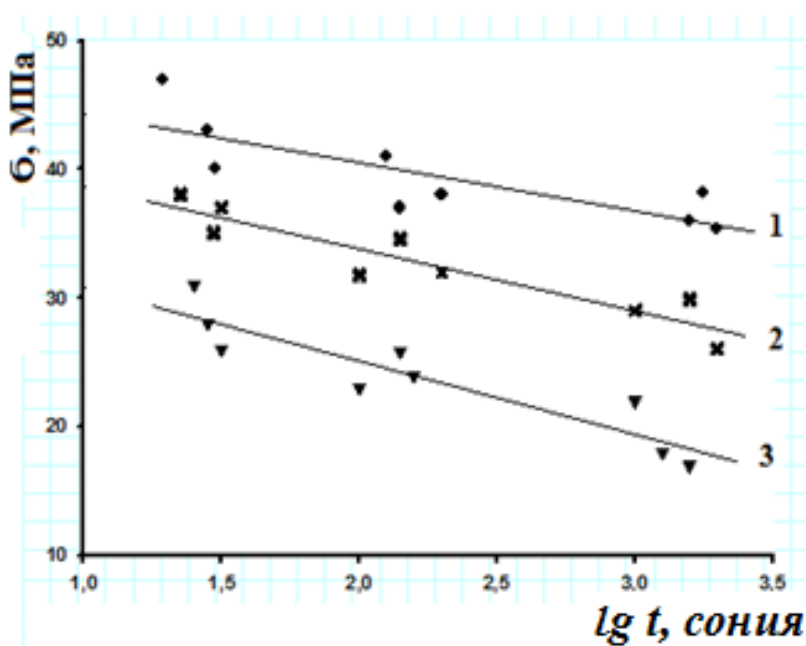


Расми 3.2.1 Вобастагии мустаҳкамӣ ( $\sigma$ ) аз вақти деформатсия барои пардаҳои таркибии 1-СПВ дар ҳолати ибтидоӣ, 2- СПВ+7СВ 15 % ва 3 – СПВ+7СВ 25%

Дар доираи ин, ченкуниҳо таҷрибаҳо барои пардаҳои полимерии дар заминаи матритсаи ПВБ асосёфта низ гузаронида шуданд, ки натиҷаи онҳо дар расми 3.2.2 нишон дода шудаанд. Тавре ки дида мешавад, барои ҳарду силсилаи компонентҳо (15 ва 25%) ин вобастагӣ хаттӣ мебошанд. Барои намунаҳое, ки 15% компонентаи КМН (хати рости 2) доранд, бузургии мустаҳкамӣ ( $\sigma$ ) дар суръати баланди деформатсия нишондоди  $\sigma = 36,4$  МПа дорад ва барои суръати суст бошад он ба  $\sigma = 27,8$  МПа баробар аст.

Аз ин рӯ, камшавии мустаҳкамӣ дар ин ҳолати ченкунии таҷрибавӣ тақрибан 23,6% -ро ташкил медиҳад. Дар ҳолати компонентаи КМН бо таносуби 25% дар суръати баланди деформатсия ба нишондоди мустаҳкамӣ  $\sigma = 28,8$  МПа ва дар суръати сусти боргузори ин бузургӣ ба  $\sigma = 18,5$  МПа

баробар мешавад. Камшавии мустаҳкамӣ дар ин маврид тақрибан ба 35,5% мерасад. Таҳлилҳои муқоисавии камшавии мустаҳкамӣ барои ду ҳолати намунаҳои компонентаи кристалли моеъ дар дохили ПВБ нишон доданд, ки дар ҳолати дуум талафёбӣ ду маротиба зиёд мебошад. Натиҷаҳо муайян намуданд, ки дар мавриди афзоиш ёфтани компонентаи КМН дар сатҳи пайвастанандаи полимерӣ ва шумораи қатраҳои нематикӣ дар ҳаҷм ва сатҳи матритса ба камшавии мустаҳкамӣ сабабгори мегарданд. Тақсими баробари қатраҳои нематикӣ ба вайроншавии макромолекулаҳои ПВБ ва табиатан ба пастшавии мустаҳкамӣ оварда мерасонад.



Расми 3.2.2. Вобастагии мустаҳкамии кандашавӣ ( $B$ ) аз вақти деформатсия барои пардаҳои таркибии 1-ПВБ дар ҳолати ибтидоӣ, 2-ПВБ+7СВ 15 % ва 3 – ПВБ+7СВ 25%

Дар доира ин натиҷаҳо барои таҳлили вобастагии концентратсияи  $B=f(t)$  пардаҳои полимери тадқиқшаванда модели пешниҳод мешавад, ки мувофиқи он қатраҳои нематикӣ дар гирехҳои тарҳҳои мураккаби муқаррарӣ ҷойгир карда шудаанд. Тасаввур кардан қиёсан душвар аст, ки роғҳои зерӣ таъсири қувваи статикӣ пайдо гардида, тавассути нуқтаҳои сустии пардаи полимерӣ, яъне дар ҳамвории худ матритсаи полимерӣ паҳн мешаванд. Дар чунин нуқтаҳои сустии пардаи полимерӣ шиддати механикӣ ёзишдихӣ ба

суммаи шиддатҳои полимери матритсавӣ ва қатраҳои нематикӣ бо назардошти андоза ва шакли онҳо баробар аст:

$$\sigma_c = \sigma_m(\varepsilon) \cdot V_m + \sigma_f(\varepsilon) \cdot V_f, \quad (3.2.1)$$

дар ин ҷо  $\sigma_m$  ва  $\sigma_f$  - бузургии шиддати механикии дар матритсаи полимерӣ ва қатраи нематикӣ;  $V_m$  ва  $V_f$  – андоза ва шакли онҳо;  $\varepsilon$  – деформатсияи нисбӣ дар нуқтаи заифтарини пардаи полимерӣ. Вобаста ба ин, бинобар хурд будани қатраҳои нематикӣ 7СВ эҳтимол меравад, ки деформатсияи қатраҳо ба деформатсияи полимери матритсавӣ баробар аст.

Он гоҳ масоҳати қатраҳои андозаи хурд доштаи пардаи полимери тадқиқшаванда ба  $S_f^{2/3}$  баробар мешавад ва баъдан ифодаи (3.2.1) шакли зеринро мегирад:

$$\sigma_c = \sigma_m(\varepsilon) \cdot (1 - S_f^{2/3}) + \sigma_f(\varepsilon) S_f^{2/3}. \quad (3.2.2)$$

Ҳангоми набудани консентратсияи компонентаи КМН 7СВ (расми 3.2.1, хати 2) ё намунаҳое, ки 15% компонентаи КМН 7СВ доранд (расми 3.2.2), қатраҳои кристалли моеи нематикӣ пештар вайрон мегарданд. Тахмин кардан мумкин аст, ки раванди вайроншавии полимери матритсавӣ дар ифодаи дуҷуми (3.2.2) ба сифр  $\sigma_f=0$  баробар аст. Дар ин маврид мустаҳкамии механикии пардаи композитиро танҳо мустаҳкамии худии полимер муайян карда, мувофиқан ифодаи (3.2.2) шакли зеринро мегирад:

$$\sigma_c = \sigma_{0m}(1 - S_f^{2/3}), \quad (3.2.3)$$

ин ҷо  $\sigma_{0m}$  - мустаҳкамии ниҳонии полимерӣ матритсавӣ.

Дар мавриде, ки консентратсияи нематикӣ 7СВ 25% будан (хати рости 3, расми 3.2.2), роғи қатраҳои нематикӣ ба вайроншавии худии полимер дар маҷмӯъ оварда мерасонад ва бояд шиддати таъсирунада дар қатраҳо ба назар гирифта шуда ва ҳисоб карда шавад. Мустаҳкамии механикии пардаҳои композитии таҳқиқшуда дар ин ҳолат бо муодилаи (3.2.2) муайян карда мешавад, ки дар он  $\sigma_m$  – бузургии шиддати (бори) механикӣ дар

полимери матритсавӣ буда, дараҷаи деформатсия ба деформатсияи вайроншавии қатраи нематикӣ ё баробар аст.

Ҳамин тавр, мустаҳкамии механикии пардаҳои полимерӣ дар ҳолати ибтидоӣ ё концентратсияи паст дошта (15%) ба мустаҳкамии худ полимерҳои матритсавӣ ва қатраи нематикӣ муайян карда мешавад. Дар ин маврид пеш аз вайроншавии маводи композитӣ қатраҳои нематикӣ вайрон шуда ва қобилияти бардоштани бори механикиашон нест мешавад. Мустаҳкамии композитҳои микдори зиёди компоненти КМН 7СВ (то 25%) дошта бо мустаҳкамии механикии қатраи нематикӣ ва таркиби онҳо, шакл ва андозаи онҳо, инчунин шиддати механикӣ дар матритсаи полимерӣ ҳангоми вайроншавии қатраи нематикӣ муайян карда мешавад. Ҳамин тавр, нишондоди бузургии мустаҳкамии охири нисбат ба пардаҳои полимери дар ҳолати ибтидоӣ буда, хеле кам аст, ки ҳангоми вайроншавии композит полимерӣ пайвастанда қобилияти борбардории худро гум мекунад.

### **3.3. Хосиятҳои деформатсионии пардаҳои полимери кристалли моеъ дошта дар усули хазандагӣ**

Омӯзиши тағйироти сохторӣ ва равандҳои молекулавӣ, ки ҳангоми яксамта ёзишдиҳии системаҳои полимери эластикиашон баланд дар речаи релаксатсияи шиддат ба амал меоянд, ҳоло ҳам дар маркази таваҷҷӯҳи тадқиқотчиён қарор доранд. Муаммои мазкур бештар барои системаҳои таркибӣ, ки дорои фазои дисперсӣ ва хосиятҳои анизотропӣ мебошанд, то ҳануз мубрам ба ҳисоб меравад. Ба ингуна системаҳо пардаҳои полимери қатраи кристалли моеъ дошта дохил мешаванд, ки ҳоло ҳамчун элементи асосӣ дар самти фотоника ва дастгоҳҳои оптоэлектроникӣ ба таври васеъ истифода мешаванд. Оид ба парешхӯрди рӯшноӣ дар пардаҳои полимери мазкур зери таъсири майдонҳои электрӣ ва магнитӣ бо тағйир додани самти минбаъдаи майдони директори нематик то ҳанӯз микдори корҳои зиёде мавҷуд мебошанд [9, 61, 104, 138, 148]. Бо вучуди ин масъалаи хосиятҳои деформатсия дар соҳаҳои дар боло зикршуда бо назардошти ташаккули



дигаргуниҳои нави конфигурацсия тахти омӯзиши ҳамаҷониба қарор дорад. Доир ба ин дар қисми пешина оид ба ченкуниҳои таҷрибавии кинетикаи вайроншавии пардаҳои полимерии кристалли моеъ дошта ва хусусиятҳои деформатсияшавии онҳо вобаста аз консентратсияи компонентҳо муайян карда шуданд. Роҷеъ ба қорҳои дар ин самт анҷомёфта дар ин қисми қор параметри деформатсияи объекти тадқиқот дар речаи хазандагӣ (бо суръати доимии деформатсия  $\dot{\epsilon} = const$ ) баррасӣ шудааст.

Хазандагӣ дар шароити ёзишдиҳии яксамта бо истифода аз дастгоҳи махсуси дар боби 2 тавсифшуда омӯхта шуд. Дар бештар мавридҳо андозаи қисми қорҳои пардаҳои полимерии омӯхташуда 22,4 ва 0,03 мм буданд. Тибқи [196], дар мавриди омӯзиши ҳаракати полимерҳо камшавии буриши намуна ҳангоми деформатсияи он ба назар гирифта мешавад, бинобар ин камшавии қувваи ( $F$ ) ба камшавии буриши кундалангӣ мутаносиб мебошад. Дар ин усул, шиддати кашиш ( $\sigma$ ), ки ба намунаи тадқиқшаванда таъсир мерасонад, доимӣ мемонад. Дастгоҳи махсусе, ки дар ин қор истифода шудааст, имкон медиҳад, ки қувваи  $F$ -ро, ки ба намуна доимӣ таъсир мерасонад, нигоҳ дошта шавад [158, 180].

Ҳамин тавр, бо баланд шудани дараҷаи деформатсия, дар ҳолати нигоҳ доштани қувваи доимӣ ва тағйирнопазирии воқеии ҳаҷми намуна, фишори механикӣ, ки дар буриши намуна ҳангоми кашиш амал мекунад, мутаносиб ба он он зиёд мешавад.

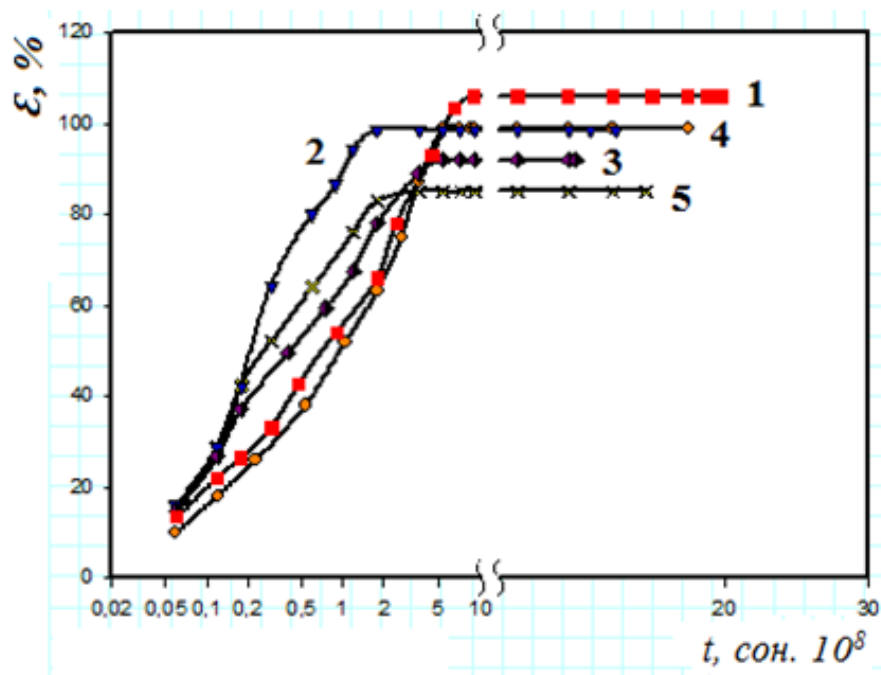
$$\sigma = \frac{F}{S} = \frac{FL_0}{S_0L} = \sigma_0 \lambda. \quad (3.3.1)$$

Дар ин ҷо  $S$  ва  $L$  буриши ҷорӣ ва дарозии намуна,  $S_0$  ва  $L_0$  қимати ибтидоии онҳо ва  $\lambda$  - дарозии нисбии намуна ҳангоми деформатсия мебошанд.

Пардаҳои полимерӣ бо консентратсияҳои гуногуни қатраҳои микроскопии КМН 7СВ (С=15; 20; 25; 30 ва 35%) дар ҳолати  $\dot{\epsilon}=const$  ба яксамта ёзишдиҳӣ дучор карда шуданд ва суръати деформатсия дар фосилаи вақти  $[1-10^8]$  сония чен карда шуд. Натиҷаи ченкуниҳо дар расми 3.3.1 ба

намуди графики вобастагии суръати деформатсия аз вақт барои пардаҳои композитии дар заминаи спирти поливинилӣ ва 7СВ омода шуда оварда шудаанд.

Тавре, ки аз расми 3.3.1 дида мешавад деформатсияи умумии пардаҳои полимерии мазкур ( $\varepsilon$ ) аз ду қисми шартӣ иборат аст: деформатсияи Гук  $\varepsilon_0$  ва деформатсияи хазандагӣ  $\varepsilon_n$  бо мурури замон меафзояд.



Расми 3.3.1 Вобастагии суръати деформатсияи хазандагӣ аз вақт барои пардаҳои полимерии кристалли моеъ дошта дар асоси СПВ ва 7СВ: 1- (15%), 2- (20%), 3- (25%), 4-(30%), 5-(35%)

Доир ба ин дар шароити таҷриба қисми якуми деформатсия баъди таъсир намудани қувваи механикӣ айнан 3-4 сония чен карда шуд. Онҳо таъсири устувории сохтори химиявии матритсаи полимериро ба деформатсияи хазандагӣ нишон медиханд ва бо муодилаи зерин муайян карда мешаванд:

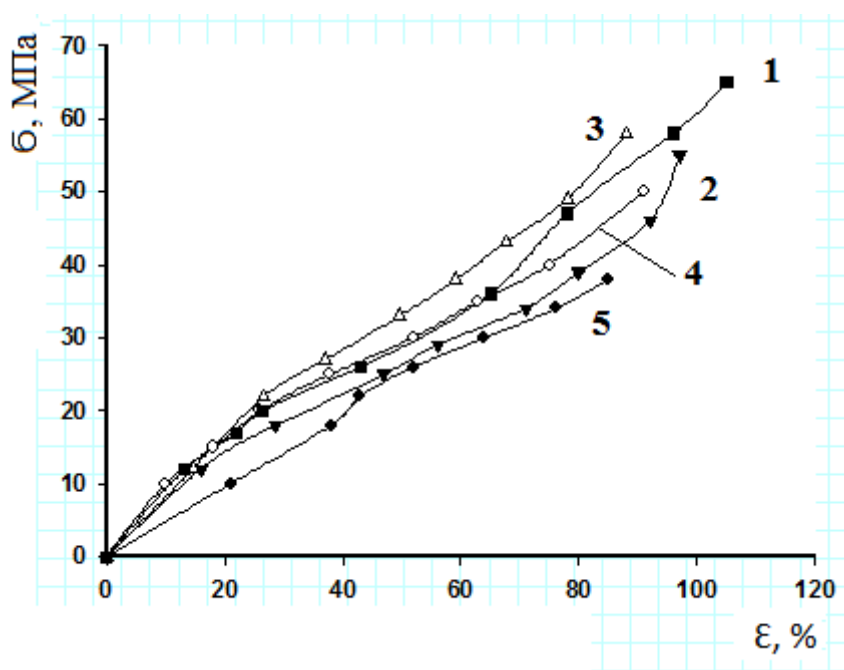
$$\varepsilon(t, \sigma) = \varepsilon_0(\sigma) + \varepsilon_n(t, \sigma). \quad (3.3.2)$$

Тавре ки дида мешавад, механизмӣ хазандагӣ барои пардаҳои композитии СПВ+7СВ барои ҳамаи концентратсияҳо якхела аст ва дар ҳар фосилаи вақт ( $t$ ) деформатсияи хазандагӣ, ки дар ҳарорати доимӣ чен карда

мешавад, танҳо аз рӯи коэффисиенте муайян карда мешавад, ки ба он шиддати механикии истифодашаванда вобаста аст. Дар мавриди шиддатҳои баланд, махсусан дар ҳудуди ҳолати пеш аз вайроншавӣ механизми деформатсияи хазандагӣ мураккабтар мегардад. Барои фосилаи вақти аз 5 сония то якчанд рӯз, хазандагии пардаҳои полимери кристалли моеъ дошта бо ифодаи зерин муайян карда мешавад:

$$\varepsilon(t) = \varepsilon_0 + \varepsilon^* t^n. \quad (3.3.3)$$

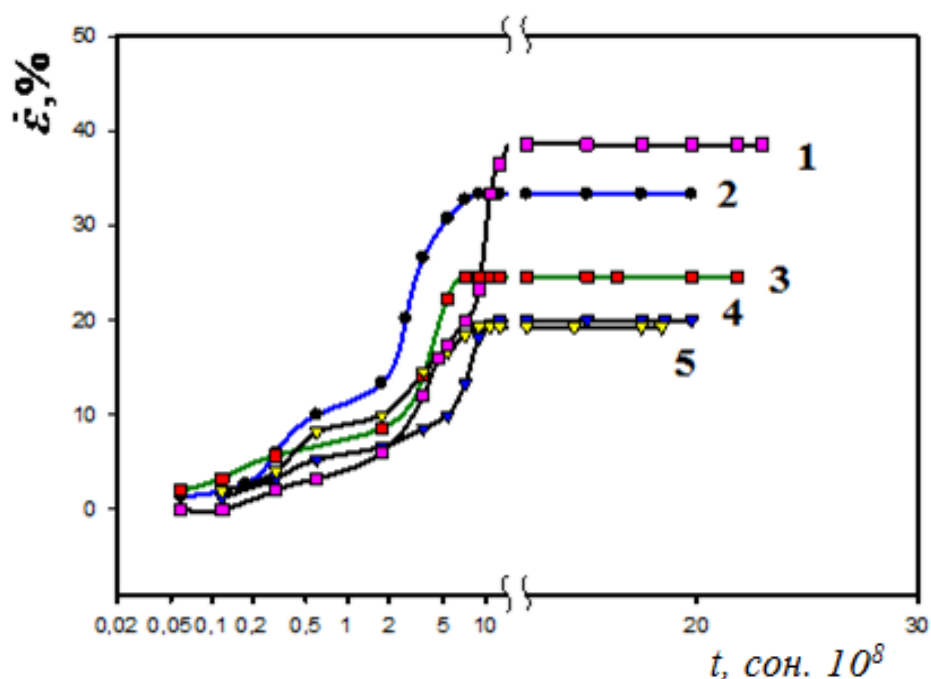
Дар ин ҷо  $\varepsilon_0$  ва  $\varepsilon^*$  коэффисиентҳои аз шиддат вобаста буда ва  $n$  коэффисиенти доимӣ мебошад. Муодилаи мазкур барои муайянкунии аналитикии вобастагии хазандагии пардаҳои полимери омӯзишӣ дар расми 3.3.2 оварда шудааст.



Расми 3.3.2 Качигии деформатсияшавии пардаҳои ППКМ барои концентратсияҳои гуногуни КМН 7СВ дар заминаи матритсаи СПВ: 1- (15%); 2- (20%); 3- (25%); 4- (30%); 5- (35%)

Тавре ки дида мешавад, барои пардаҳое, ки мо мавриди омӯзиш қарор дорем, ҳамаи коэффисиентҳои ифодаи (3.3.3) ба шиддати механикии гузошташуда ( $\sigma$ ) вобаста мебошад. Маълум гардид, ки коэффисиентҳои  $\varepsilon_0$  ва

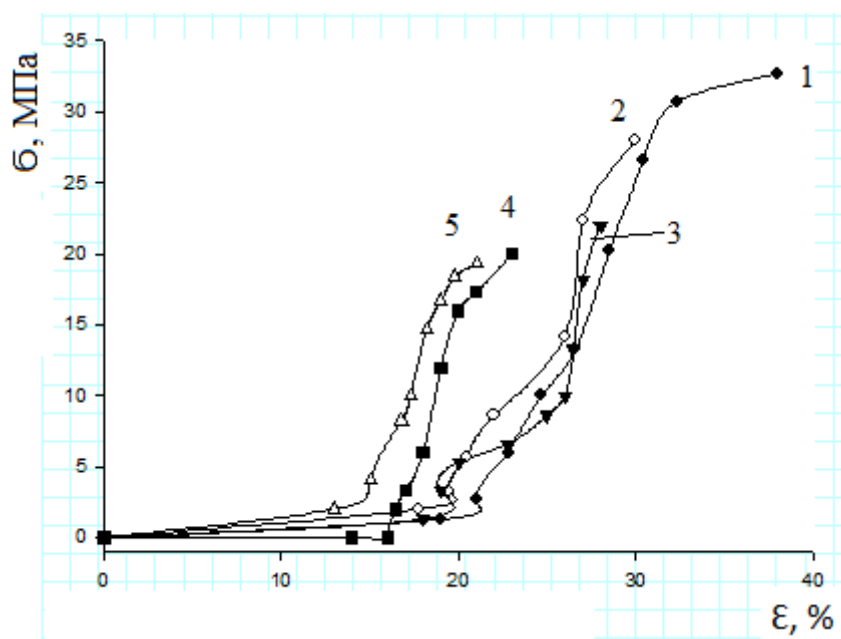
$\epsilon^*$  баробари зиёд шудани бори (қувваи) механикӣ афзоиш меёбанд. Баъзан аз 5 сония то чандин рӯз, хазандагии пардаҳои полимери кристалли моеъ асосёфта бо ифодаи (3.3.3) бо коэффисиентҳои дар боло овардашуда бо афзоиши на бештар аз 10% муайян карда мешавад. Аммо, барои шиддати ба вайроншавӣ нисбатан наздик, чунин хазишҳо мутаносибан то 25-30% зиёд мешавад ва ифодаи мазкур то андозае эътибор надорад. Аз ин рӯ, дар доираи назарияи хаттии часпакӣ омӯхтани хазиши пардаҳои полимерӣ дар мавриди шиддати калон барои омӯзиш қарор дода мешавад. Барои ҳисоб намудани ҳудуди хаттии часпакӣ, ҳамаи хатҳои хазандагӣ дар ҳарорати хонагӣ бояд ба вобастагии гардиши ҳаракат дар шиддати пасттарин, дар ҳолати  $\sigma=20$  МПа кам карда шаванд. То андозае ин шиддати механикӣ баланд аст, ки дар он хати гардиши печидагӣ дар ҳудуди 2-10% мегузарад ва он ҳамчун ҳолати маҳдуди хусусияти часпакии мавод қабул карда мешавад.



Расми 3.3.3 Вобастагии суръати деформатсияи хазандагӣ аз вақт барои пардаҳои полимери кристалли моеъ дошта дар асоси ПВБ ва 7СВ: 1- (15%), 2- (20%), 3- (25%), 4- (30%), 5- (35%)

Дар доираи ин маълумотҳо дар расми 3.3.3 вобастагии деформатсияи хазандагӣ барои пардаҳои полимери дар асоси матритсаи ПВБ бо концентратсияҳои гуногуни КМН 7СВ асосёфта оварда шудаанд.

Таҳлили муқоисавии чунин натиҷаҳои таҷрибавӣ дар расми 3.3.1 нишон дода шудаанд: дараҷаи деформатсияшавии нисбии матритсаи ПВБ нисбат ба СПВ тақрибан ду маротиба камтар аст, ин ба далаели кам будани глитсерин ҳамчун пластификатор шарҳ дода мешавад; минтақаи деформатсияи Гук дар ПВБ норавшан аст. Тақрибан шакли гузариши минтақаи часпакии ғайри хаттӣ барои ду намуди маводҳои пайвандкунанда якхела аст; дар суръати доимии шиддат барои пардаҳои полимери СПВ дорой деформатсияшавии максималии  $\epsilon = 106\%$  ва барои матритсаи ПВБ танҳо  $\epsilon = 40\%$  мебошад. Ба ҳамин монанд, барои матритсаи СПВ, дар асоси натиҷаҳои графика дар расми 3.3.3, қачиҳои изохронӣ дар расми 3.3.4 тасвир шудаанд.



Расми 3.3.4 Қачиҳои деформатсияшавии пардаҳои ППКМ барои концентратсияҳои гуногуни КМН 7СВ дар заминаи матритсаи ПВБ: 1- (15%); 2- (20%); 3- (25%); 4- (30%); 5- (35%)

Аз рӯи вобастагиҳои додашудаи  $\sigma = a(\epsilon)$  муқаррар карда шуд, ки пас аз гузаштан аз шиддати бӯхронӣ қисми хеле васеи он тағйирёбии нисбатан

назарраси деформатсия бо афзоиши шиддат мушоҳида мешавад. Ин натиҷаҳо нишон медиҳанд, ки пас аз гузаштан аз шиддати бӯҳронӣ, ПВБ қодир аст, ки дар шароити хазандагӣ дар зери таъсири шиддати механикии доимӣ самтгирии намоён дошта бошад.

Маҳдудияти ҳудуди хаттӣ дар пардаҳои полимери кристалли моеъ дошта нисбат ба шиддати механикӣ, ки дар ин кор ошкор карда шуд, вобаста аз шароити таҷрибавӣ ба сатҳҳои деформатсияҳо дар ҳудудҳои муайяншуда мувофиқат мекунад. Табиати умумии хусусияти деформатсияи ғайрихаттӣ дар пардаҳои полимери кристалли моеъ дошта нишон медиҳад, ки дар муддатҳои тулонӣ, ба тамоюли классикии ҷисми сахт мувофиқат мекунад [197]. Сабаби гузариш ба хусусияти ғайрихаттӣ бо афзоиши шиддати механикӣ дар он аст, ки нишондоди хоси шиддат дар тадқиқоти мо аз 20% зиёданд, ки аз меъёри муқаррарӣ то андозае зиёдтар аст. Аз тарафи дигар, он бо азнавсозии сохторе, ки аллакай дар дараҷаҳои деформатсияи 5-10% оғоз мешаванд, инчунин бо тадричан устувору мустаҳкам шудани сохтори матритсаи полимерӣ дар ҳолати пеш аз вайроншавӣ алоқаманд мебошад.

Ҳамин тавр, дар минтақаи дараҷаи шиддати паст, вобастагии умумии хазандагӣ дар ҳудуди часпакии хаттӣ ба таври назаррас фарқ мекунад ва барои минтақаи нишондодҳои шиддати баланд, чунин хатҳо якҷоя мешаванд. Тадқиқоти мазкур, дар доираи хазиши пардаҳои полимери кристалли моеъ дошта, ба мо имкон медиҳад, ки хусусиятҳои онҳоро дар шароити хазандагӣ зери таъсири шиддати механикии доимӣ тавсиф диҳем. Натиҷаҳо имкон медиҳанд, ки ҳудудҳои шиддатноке муайян карда шаванд, ки барои истифодаи полимерҳо ҳамчун пайваस्तкунанда ва самтгирӣ ниҳоят муосидат мекунанд.

### **3.4. Таъсири радиатсияи офтобӣ ба хосиятҳои механикии пардаҳои полимери кристалли моеъ дошта**

Омӯзиши хосиятҳои физикию механикии пардаҳои полимери кристалли моеъ дошта то кунун яке аз масъалаи муҳими физикаи муҳити

конденсӣ ба ҳисоб меравад. Зеро полимерҳои модификатсияшуда ба хосиятҳои хос соҳиб мешаванд ва дар соҳаҳои босуръат инкишофёбандаи техника ва технологияи инноватсионии муосир (оптоэлектроника ва оптоинформатика) ба таври васеъ истифода бурда мешаванд. Истифодаи самараноки хосиятҳои оптоэлектронии чунин маводҳои таркибӣ тақозо менамояд, ки мустаҳкамии механикии онҳоро зиёд карда, таъсири омилҳои беруна, аз қабилӣ таъсири радиатсияи табиӣ, температура, намӣ ва шиддати механикӣ ба мустаҳкамӣ ва дарозумрии онҳо омӯхта шавад. Омӯзиши ботафсили таъсири омилҳои зикршуда ба мустаҳкамӣ ва дарозумрии полимерҳои модификатсияшуда имкон медиҳад, ки шароити кории ин гуна маводҳо дақиқан муқаррар карда ва бо назардошти он мӯҳлати кории асбобҳои оптоэлектронӣ пешгӯӣ карда шавад.

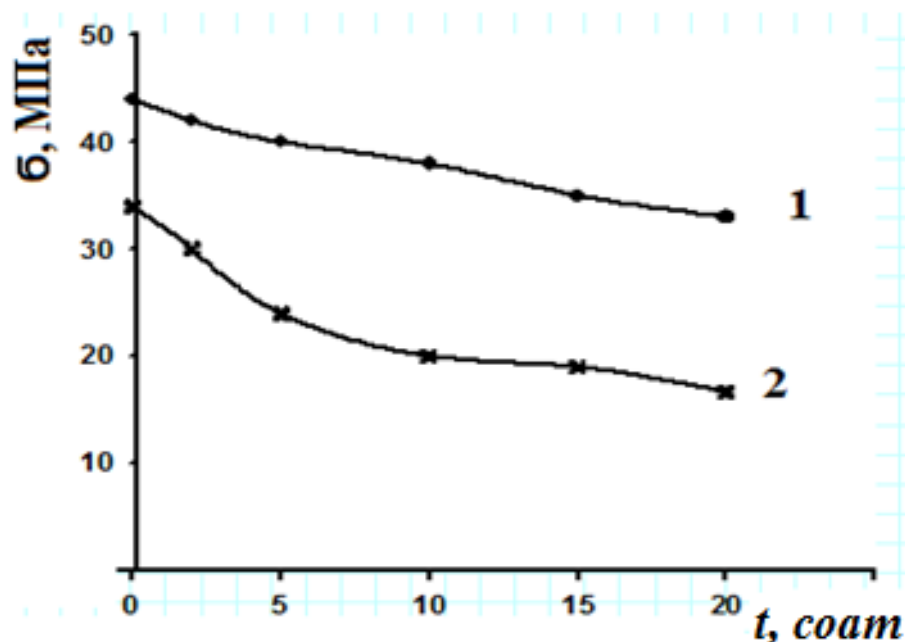
Таҳлили адабиёти соҳавӣ нишон медиҳад, ки таъсири омилҳои табиӣ ва техногенӣ ба мустаҳкамӣ ва дарозумрии полимерҳои модификатсияшуда бояду шояд омӯхта нашудааст. Бо назардошти ин, дар шароити лабораторӣ тадқиқи ин масъалаҳо ба роҳ монда шудааст. Дар параграфи мазкур таъсири радиатсияи офтобӣ ба мустаҳкамӣ ва деформатсияшавии ду навъ полимерҳои бо кристалли моеъ модификатсияшуда мавриди таҳқиқ қарор дода шудааст.

Барои дар таҷриба омӯختани таъсири радиатсияи офтобӣ ба мустаҳкамӣ ва деформатсияшавии намунаҳои зикршуда аз пардаҳои полимери СПВ+7СВ ва ПВБ+7СВ намунаҳо бурида, онҳоро ба рӯи лавҳаи тахтагии ҳамвор чида, зеро таъсири афканишоти радиатсияи офтоб муддати вақтҳои аз 2 то 20 соат гузошта мешаванд. Таҷриба дар баландии 350 м аз сатҳи баҳр гузаронида шуд. Намунаҳо тавре гузошта шуда буданд, ки дар нисфирӯзӣ афканишоти Офтоб ба сатҳи намунаҳо перпендикуляр афтанд. Пас аз ҳар панҷ соати экспозитсияи намунаҳо зеро афканишоти офтобӣ 5-6 намунаро аз лавҳа гирифта мустаҳкамӣ ва деформатсияшавии онҳо бо усули ёзонидан чен карда мешавад. Мустаҳкамӣ ва деформатсияшавии намунаҳо бо воситаи таҷҳизоти махсус [181], ки дар он бо баробари дарозшавии намуна (камшавии бурриши кӯндалангии намуна) бо таври автоматӣ китфи фашанги боргузори

кам мешавад, чен карда шуд. Ҳарорати муҳити атроф дар рӯзҳои таҷриба 40-45°C –ро ташкил медед. Дар таҷрибаҳои мазкур намии ҳаво назорат карда нашудааст.

Дар расми 3.4.1 вобастагии мустаҳкамии намунаҳои СПВ+7СВ (15%) ва ПВБ+7СВ (15%) аз вақти экспозитсия зери таъсири афканишоти офтобӣ оварда шудааст.

Аз расм дидан мумкин, ки бо афзоиши вақти таъсири афканишоти офтобӣ мустаҳкамии полимерҳои модификатсияшуда ғайрихаттӣ кам мешаванд. Танҳо дараҷаи камшавии мустаҳкамии композитсияҳои зикршуда гуногун мебошад.



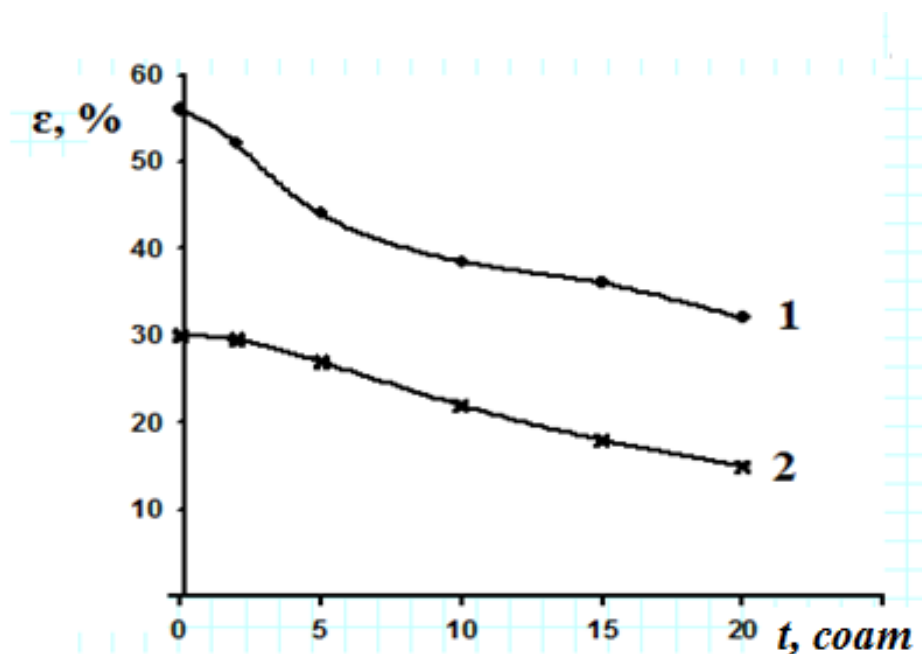
Расми 3.4.1. Вобастагии мустаҳкамии намунаҳои ППКМ аз вақти экспозитсия зери таъсири афканишоти офтобӣ дар баландии 350 м аз сатҳи баҳр: 1 - СПВ+7СВ(15%), 2- ПВБ+7СВ(15%)

Масалан, агар мустаҳкамии намунаҳои матритсааш спирти поливинилӣ дар ибтидо ба ҳисоби миёна 42 МПа бошад, пас аз 20 соати таъсири афканишоти офтобӣ то ба 32,5 МПа кам мешавад. Чунин қоҳиши мустаҳкамӣ барои намунаҳои матритсаашон поливинилбутирал аз 32 МПа то ба 18 МПа мебошад. Ҳисобкунӣ нишон медиҳад, ки қоҳиши мустаҳкамӣ дар тӯли 20 соати экспозитсия барои намунаҳои полимери модификатсияшудаи



СПВ+7СВ назар ба ҳолати ибтидоӣ тақрибан 26,5%, вале коҳиши мустаҳкамии намунаҳои ПВБ+7СВ тақрибан 43% -ро ташкил медиҳад. Пас, композитсияи СПВ+7СВ назар ба ПВБ+7СВ нисбати радиатсияи офтобӣ устувории калон доштааст.

Камшавии мустаҳкамии пардаҳои полимери зерин таъсири радиатсияи офтобро ҳамчун натиҷаи кандашавии занҷирҳои полимерӣ зерин таъсири квантҳои нуруҳои ултрабунафш (УФ) маънидод карда мешавад [190]. Афзоиши талафи мустаҳкамӣ бо зиёд шудани вақти экспозитсия зерин таъсири радиатсияи офтобӣ аз кумулятивияти кандашавии робитаҳои молекула дар сохтори полимер дарак медиҳад.



Расми 3.4.2. Вобастагии вақти экспозитсия зерин таъсири афканишоти офтобӣ дар баландии 350 м аз деформатсияшавии пардаҳои полимерӣ: 1- СПВ+7СВ, 2- ПВБ+7СВ

Дар расми 3.4.2 вобастагии деформатсияшавии пардаҳои полимери бо кристалли моеъ модификатсияшудаи СПВ+7СВ ва ПВБ+7СВ аз вақти экспозитсия зерин таъсири радиатсияи Офтоб оварда шудааст. Таҷриба нишон медиҳад, ки бо афзоиши вақти экспозитсия деформатсияшавии намунаҳо аз пардаи полимери зикршуда ғайрихаттӣ кам мешавад.

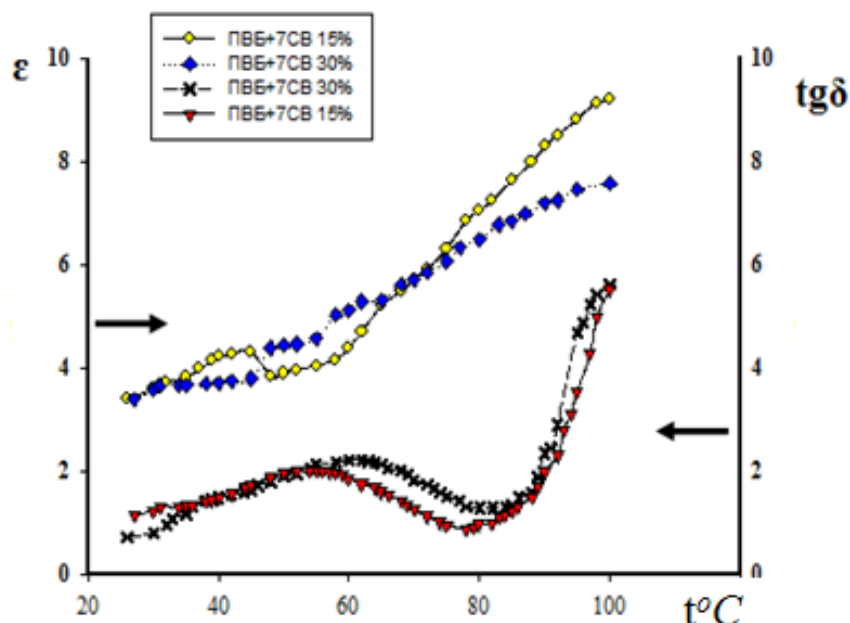
Масалан, агар дар ҳолати ибтидоӣ (бе таъсири радиатсия) деформатсияшавии СПВ+7СВ тақрибан 55%-ро ташкил диҳад, пас аз 10 соати таъсири афканишоти офтобӣ деформатсия то ба 38 % ва минбаъд пас аз 10 соати дигар то ба 31 % кам мешавад. Барои намунаҳои ПВБ+7СВ бошад, дар ҳолати ибтидоӣ деформатсияшавӣ ба 30% баробар мебошад. Пас аз 20 соати таъсири афканишоти офтобӣ деформатсияшавии намунаҳо то ба 13 % кам мешавад.

Ҳамин тавр, дар таҷриба таъсири вақти экспозитсия зери таъсири Офтоб ба мустаҳкамӣ ва деформатсияшавии пардаҳои полимерии бо кристалли моеъ модификатсияшуда омӯхта шуд. Нишон дода шуд, ки бо афзоиши вақти экспозитсия бузургҳои мустаҳкамӣ ва деформатсияшавии композитсияҳои мазкур ғайрихаттӣ кам мешаванд. Таҷрибаҳо дар шароити табиӣ дар баландии 350 м аз сатҳи баҳр гузаронида шудааст ва чунин таҷрибаҳо дар баландиҳои дигар идома дорад.

### **3.5. Таъсири ҳарорат ба хосиятҳои электрофизикии пардаҳои полимерии кристалли моеъ дошта**

Омӯзиши параметри тангенс кунчи талафи диэлектрикӣ аз ҳарорат имкон медиҳад, ки вақти релаксатсияи самтгирии моменти диполӣ дар ҳолати чандирии баланд ва шишагунӣ ҳисоб карда шавад. Вобаста ба ин дар ин қисм параметрҳои диэлектрикӣ бо истифода аз дастгоҳи пули (купруки) ҷараёни тағирёбандаи Р-5079, ки тарзи кори он дар боби 2 оварда шудааст, омӯхта мешавад. Барои гузаронидани ченкуниҳои таҷрибавӣ ячейкаҳои стандартӣ махсус бо электродҳои паҳшкунанда истифода бурда шуданд. Натиҷаи ченкуниҳо дар расми 3.5.1 ба нумуди графики вобастагии параметрҳои нуфузпазирии диэлектрикӣ ( $\epsilon'$ ) ва тангенс кунчи талафёбии диэлектрикии ( $\text{tg}\delta$ ) пардаҳои композитии дар заминаи полимер ва кристалли моеъ асосёфтаи ПВБ+7СВ барои концентратсияҳои 15 ва 30% оварда шудаанд. Дида мешавад, ки бо баланд шудани ҳарорат, афзоиши якхелаи  $\epsilon'$

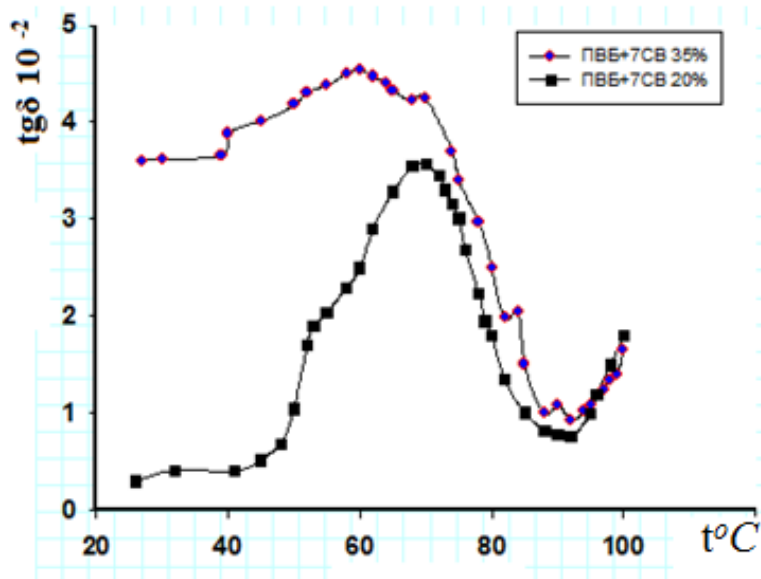
ва  $\text{tg}\delta$  намунаҳои тадқиқ шаванда то ҳарорати гузариш ба ҳолати нематик ва баъди гузаштан ба ҳолати изотропӣ мушоҳида мегардад.



Расми 3.5.1. Вобастагии параметрҳои  $\epsilon'$  ва  $\text{tg}\delta$  аз ҳарорат барои пардаҳои композитии ПВБ+7СВ

Афзоиши монотонии  $\epsilon'$  ва  $\text{tg}\delta$  дар диапазони аз 25 то 42°C, вақте ки пурқунанда дар ҳолати КМ аст, бо мушкилоти мураккабшавии гардиши моменти диполии молекулаҳо дар сарҳади байни матритсаи ПВБ ва молекулаҳои КМН 7СВ шарҳ дода мешавад, ки меҳварҳои дарози онҳо асосан ба ҳамвори парда перпендикуляр нигаронида шудаанд, яъне самтнокшавии радиалӣ ё планариро дорро мегарданд.

Ҳамзамон дар расми 3.5.2 вобастагии тангенс кунҷи талафи диэлектрикӣ ( $\text{tg}\delta$ ) аз ҳарорат барои консентратсияи 20 ва 35% КМН 7СВ дар матритсаи ПВБ оварда шудааст. Тавре ки дида мешавад, дар ин ҷо се минтақаи релаксатсия мушоҳида карда мешавад: якум дар ҳудуди 42-44°C; дуюм, максимуми бештар назаррас дар ҳудуди 56-67°C; ва сеюм – дар ҳароратҳои баланди (84-87°C). Бузургии  $\text{tg}\delta$  дар ҳарорати аз 95°C боло якбора афзун мегардад.



Расми 3.5.2 Вобастагии тангенс кунчи талафёбии диэлектрикӣ аз ҳарорат барои пардаҳои полимери кристалли моеъ доштаи ПВБ+7СВ

Падидаи мазкур то ҳадди имкон тезтар аён мешавад, агар басомади майдони электрӣ ҳамон қадар пасттар бошад. Афзуншавии суръатноки  $tg\delta$ , ба андешаи мо, ба зиёдшавии ноқилиятнокии намунаи тадқиқшуда алоқаманд аст. Максимуми баландҳарорат ва  $\alpha$ -релаксатсия ба он мувофиқ, ки бо усули релаксатсияи диэлектрикӣ мушоҳида мешавад, дар ҳолати мо бори аввал ошкор карда шудааст.  $\beta'$ -релаксатсияи пастҳарорат бошад, тибқи [33] тасдиқ карда мешавад. Гузариши релаксатсионии диффузӣ дар ҳудуди 84-87°C, ба андешаи мо, ба гузариши  $\alpha'$ - ва  $\alpha''$ -релаксатсия мувофиқат мекунад ки параметрҳои диэлектрикии онҳо дар кори [33,35, 198] ошкор ва шарҳ дода шудаанд.

Ҳангоми таҳлили муқоисавии гузариши баррасишавандаи релаксатсия, бояд дар назар дошт, ки пардаҳои полимери кристалли моеъ дошта як полимери тасодуфии гетерофаза мебошанд, ки вобаста ба хусусиятҳои худ аз назарияҳои пешинаи топологӣ 70-90% фазаи кристаллии моеъ ва 30-10% фазаи кристаллии аморфӣ доранд. Сохтори фазавии кристалли моеъ ҳамчун нематик бо бастабандии наздик тавсиф (маълум) карда мешавад, ки ҳангоми об шудан ба фазаи изотропӣ мегузарад.

Тибқи натиҷаҳои [199], гузариши релаксатсияи  $\beta$ - ва  $\beta'$  дар пардаҳои полимери кристалли моеъ дошта мутаносибан ба ҳаракатнокии гардиши занҷирҳои алифатикӣ ва гардиши ҳалқаҳои бензол дар атрофи тири асосии оптикӣ вобаста аст. Натиҷаҳои мазкур дар қисми 4-уми ин кор муфассал оварда мешаванд ва ҳоло нишон додани таъсири озодшавии ҳаракати на порчаҳои алоҳидаи занҷирҳои алифатикӣ, балки умуман алоқамандии онҳо то андозае кифоя аст.

Ҳамин тавр, омӯзиши вобастагии ҳароратии нуфузпазирии диэлектрикӣ ( $\epsilon'$ ) ва тангенс кунчи талафи диэлектрикӣ ( $\text{tg}\delta$ ) ПВБ-и катраҳои КМН 7СВ дошта, нишон медиҳанд, ки табиати тартибнокшавии молекулавии КМ на танҳо аз андоза ва шакли микровоқеъ вобаста аст, инчунин аз сохтори молекулавии компонентаи КМ низ то андозае алоқамандӣ дорад.

### **3.6. Хосиятҳои диэлектрикии пардаҳои композитии дар заминаи полимер ва кристалли моеи нематик асосёфта**

Мусаллам аст, ки истифодаи кристаллҳои моеи нематик дар соҳаҳои гуногуни илм ва техника дар умум, инчунин дар асбобҳои технологияи информатсионӣ, техникаи дисплейӣ ва индикаторӣ асосан аз рӯи хосиятҳои диэлектрикии онҳо муайян карда мешаванд. Роҷеъ ба ин усули ҳассостарин ва саҳеҳтарине, ки маълумоти дақиқро дар бораи нуфузпазирии диэлектрикӣ ( $\epsilon$ ) ва тангенс кунчи талафи диэлектрикӣ ( $\text{tg}\delta$ ) медиҳад, истифодаи дастгоҳҳои стандартии ченкунандаи купрукӣ (мостӣ) [200, 201] ё усулҳои ғунҷоишӣ [185] мебошад.

Омӯзиши ҳисмҳои композитии кристалли моеъ дошта нишон дод, ки дараҷаи поляризатсия дорои аҳамияти нисбатан паст буда, бо бандишҳои саҳти молекула ҳангоми алоқа бо деворҳо ва инчунин масоҳати минималии кристалли моеъ дар катра ва чавф вобаста мебошад. Бояд қайд намуд, ки масъалаи муҳими чунин маводҳои композитӣ муайян кардани конфигуратсияи мувозинатии директори молекулаҳои КМ дар чавфҳо,

инчунин муайян кардани хусусияти онҳо дар зери таъсири майдонҳои беруна мебошад.

Муаммои мазкурро бо истифода аз усулҳои тадқиқоти оптикӣ ҳал кардан то андозае душвор ва мураккаб аст, аммо онҳо бо усулҳои ҷенкунии диэлектрикӣ дар ҳама гуна ҳудудҳои басомадҳо бе мушкилӣ ва ба таври назаррас боэътимод ва саҳеҳ ҳал намудан мумкин аст.

Дар қорҳои [201, 202] хусусиятҳои диэлектрикӣ ва анизотропии кристаллҳои моеъгӣ дар матритсаҳои дорои ҷавфҳои цилиндрии параллелӣ ҷойгиршуда омӯхта шуда, нишон дода шудааст, ки молекулаҳои КМ ба таври қатъӣ қад-қади девори ҷавфҳо ҷойгиранд. Ҳамин тавр, пас аз тағйир додани ҷавфҳо бо кислотаи алифатӣ ( $C_nH_{2n+1}COOH$ ), тартиботи радиалии молекулаҳо ба даст омад. Ҳангоми омӯختани ҷавфҳои хос ва аз ҷиҳати химиявӣ тағйирёфта доимиҳои диэлектрикиро барои ҳолатҳои муайян кардан мумкин буд, ки молекулаҳои КМ аз рӯи самти майдони электрии басомади баланд дошта ( $\epsilon_{\parallel}$ ), инчунин ба он ( $\epsilon_{\perp}$ ) ортогоналӣ самтгир мешавад. Дар доираи ин бузургии анизотропияи диэлектрикиро аз рӯи ифодаи зерин муайян мекунанд:

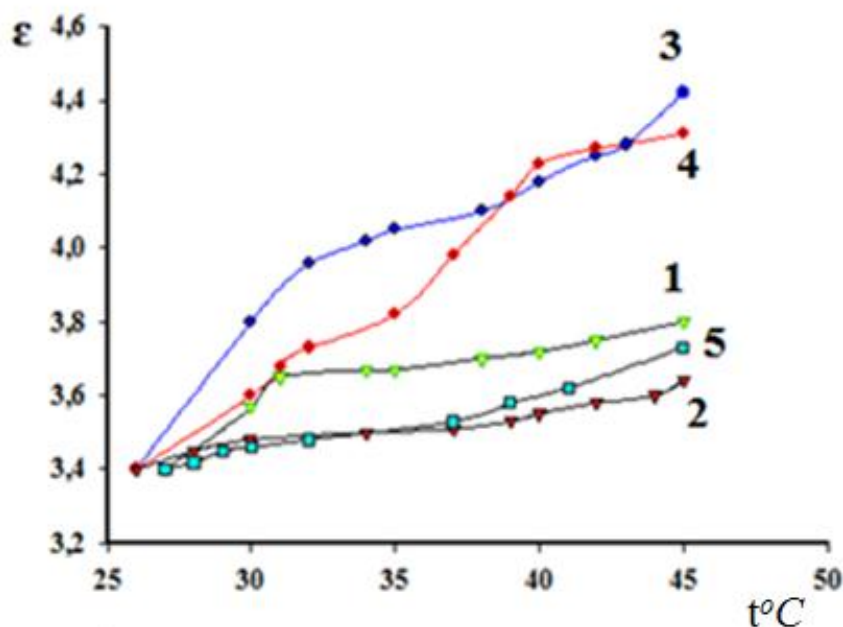
$$\Delta\epsilon = \epsilon_{\parallel} - \epsilon_{\perp} .$$

Ба ин монанд тадқиқотҳо нишон доданд, ки дар ҳудуди басомади паст барои компонентаи  $\epsilon_{\parallel}$  ва  $\epsilon_{\perp}$  ҳудуди дисперсияи иловагӣ пайдо мешавад, ки он анизотропияро ҳамроҳӣ намуда ва бо афзоиши басомади майдон тағйирёбии аломати  $\Delta\epsilon$  ба мушоҳида мерасад [62, 203]. Мутаассифона, дар ин самт, имкониятҳои истифодаи амалии маводҳои композитии мазкур барои сохтани дастгоҳҳои идорашаванда то андозае маҳдуданд, зеро татбиқи эффекти Фредерикс дар микроҷавфҳо бо ҳадди ақали КМ монеа мешавад. Аз ин рӯ, омӯзиши хосиятҳои диэлектрикии КМ, ки дар матритсаи полимерии пайвандкунанда бо басомади нисбатан паст қатраи алоҳида шудаанд, тавачҷӯхи зиёд дорад. Ин тадқиқотҳо мавзӯи бахши навбатии қори мазкур мебошад, ки вазифаи асосии онҳо муайян намудани конфигуратсияи

мувозинатии директори КМ ва омӯзиши равандҳои диполӣ ориентатсияи молекулаҳои КМ мебошад.

Вобаста ба ин таҷрибаҳои гузаронидаи мо нишон доданд, ки қимати  $\text{tg}\delta$  барои ҳамаи намунаҳои озмоишӣ аз бузургии 0,001 беш нест ва қариб тағйир намеёбад. Бинобар ин диққати асосиро ба ченкунии ҳароратӣ ва таҳлили вобастагии  $\epsilon$ , ки рафтори компонентаи ҳақиқии нуфузпазирии диэлектрикии намунаҳоро инъикос мекунад, равона шуд. Қайд кардан лозим аст, ки самти поляризатори майдони электрии пастбасомад дар намунаҳои тадқиқ шуда бо самти директори молекулаҳои нематик мувофиқат мекунад. Бинобар ин ҳангоми ориентатсияшавии директори молекулаҳо қад-қади матритса, ғунҷоиши намуна максималӣ буда, ҳангоми ортогоналӣ будани директор, баръакс, қимати минималиро соҳиб мегардад, ки ба қиматҳои ниҳии нуфузпазирии диэлектрикии  $\epsilon_{\parallel}$  ва  $\epsilon_{\perp}$  мувофиқ аст.

Дар расми 3.6.1 вобастагии ҳароратии нуфузпазирии диэлектрикии пардаҳои ПВБ-и қатраи кристалли моеъ дошта барои таносубҳои фоизи гуногун инъикос карда шудааст.



Расми 3.6.1. Вобастагии нуфузпазирии диэлектрикӣ аз ҳарорат барои пардаҳои полимерии кристалли моеъ доштаи ПВБ+7СВ: 1) 15%, 2) 20%, 3) 25%, 4) 30%, 5) 35%

Аз натиҷаҳо дида мешавад, ки бо афзун шудани ҳарорат параметри  $\varepsilon$  ҳам то ҳарорати гузариш ба ҳолати нематикӣ-изотропӣ ва ҳам баъди он афзоиши монотонӣ мушоҳида мегардад. Далели мазкурро бо алоқамандии энергияи бандиш дар ҳудуди тақсимоти васлкундаи ПВБ ва молекулаи КМН-и 7СВ аз ҳарорат шарҳ дода мешавад, чунки меҳвари оптикии КМН бештар ба ҳамвории парда перпендикуляр ориентатсия шудааст ва табиати радиалӣ ва ё планарӣ дорад. Барои намунаҳое, ки концентратсияи 15, 20 ва 30% 7СВ доранд, ҳолати молекулаҳои КМ дар майдони электрӣ бисёрҷабҳавӣ буда, ба таври назаррас тағйир меёбанд (хатҳои 1, 2, 5).

Ин аз он шаҳодат медиҳад, ки шадидияти майдони электрӣ барои бартараф кардани энергияи бандиши молекулаҳо ба матритсаи полимерӣ кифоя нест. Барои пардаҳои полимерие, ки 25 ва 30% (хатҳои 3 ва 4) компонентаи кристалли моеъ доранд, бо баланд шудани ҳарорат афзоиши босуръати майдон мушоҳида карда мешавад, ки он эҳтимолан ба тағирёбии меҳвари оптикии молекулаҳои КМ дар баробари шиддати электрӣ вобаста аст. Эффеќти мушоҳидашудаи самтгирии молекулаҳои кристалли моеъ бо афзоиши ҳарорат ба гузариши Фредерикс, ки дар зери таъсири майдонҳои электрӣ ё магнитӣ мушоҳида мешавад, монанд аст.

Эҳтимол меравад, ки барои намунаҳои 25 ва 30% компонентаи НКМ 7СВ, дошта, ҳаҷми қатраҳои КМ дар сатҳ, дар муқоисаи таносубӣ бо молекулаҳои ҳаҷмии қабати парда ҷой гирифтаанд, афзунтар мегарданд. Дар натиҷа мутаносибан ҳиссаи энергияи ба молекулаҳои дар сатҳ изолятсия карда шуда мансуб, меафзояд. Бинобар ин, дар намунаҳои концентратсияи 25 ва 30% дошта раванди самтдигаркунии молекулаҳо дар ҳарорати 26<sup>0</sup>С, яъне ба ҳарорати гузариши фазавии нематикӣ оғоз мегардад.

Ҳамин тавр, аз натиҷаи ҷенкуниҳои ҳарорати гузариши пардаҳои полимерии ПВБ, ки қатраҳои КМН доранд, муайян карда шуд, ки хусусияти тартиботи молекулавӣ на танҳо аз андоза ва шакли микроқатраҳо (микрочавфҳо), балки аз сохтори молекулавии КМ, ки мавриди омӯзиш қарор дорад, вобаста аст. Муайян карда шудааст, ки мезофазаҳои КМ аз



синфи алкилсианобифенил асосан дорои тартиботи гомеотропӣ мебошанд. Мумкин аст, ки самтгириҳои ҳамвор ё радиалии майдони директоре, ки дар ин ҳолат ба вуҷуд меоянд, аз механизми электростатикӣ ё молекулавии таъсири мутақобила байни ҷузъи ҳалқаҳои молекулаҳои КМ ва макромолекулаҳои ПВБ дар қисми сарҳадии онҳо ба амал меоянд. Тартиботи намуди гомеотропии молекулаҳо инчунин тавассути таъсири мутақобилаи ҳадафҳои то андозае дарози алкил мусоидат мекунад. Ба андешаи мо, равандҳои ориентатсияи молекулаҳои кристаллҳои моеи 7СВ дар матритсаи полимерии пайвандкунандаи ПВБ, ки муайян карда шуд, бо таъсири байнимолекулавӣ ва электростатикии занҷирҳои алкилӣ ва моментҳои диполӣ дар ҳудуди байни ду модда алоқаманд аст. Вобаста ба ин, боби навбатии рисолаи мазкур маҳз ба омӯзиши ҳамин гуна равандҳо равона карда шудааст.

## **БОБИ IV. ХУСУСИЯТҲОИ СПЕКТРАЛИИ ПАРДАҲОИ ПОЛИМЕРИИ КРИСТАЛЛИ МОЕЪГӢ**

### **4.1. Таҳлили пурраи спектри инфрасурхи пардаҳои полимерии кристалли моеъ дошта**

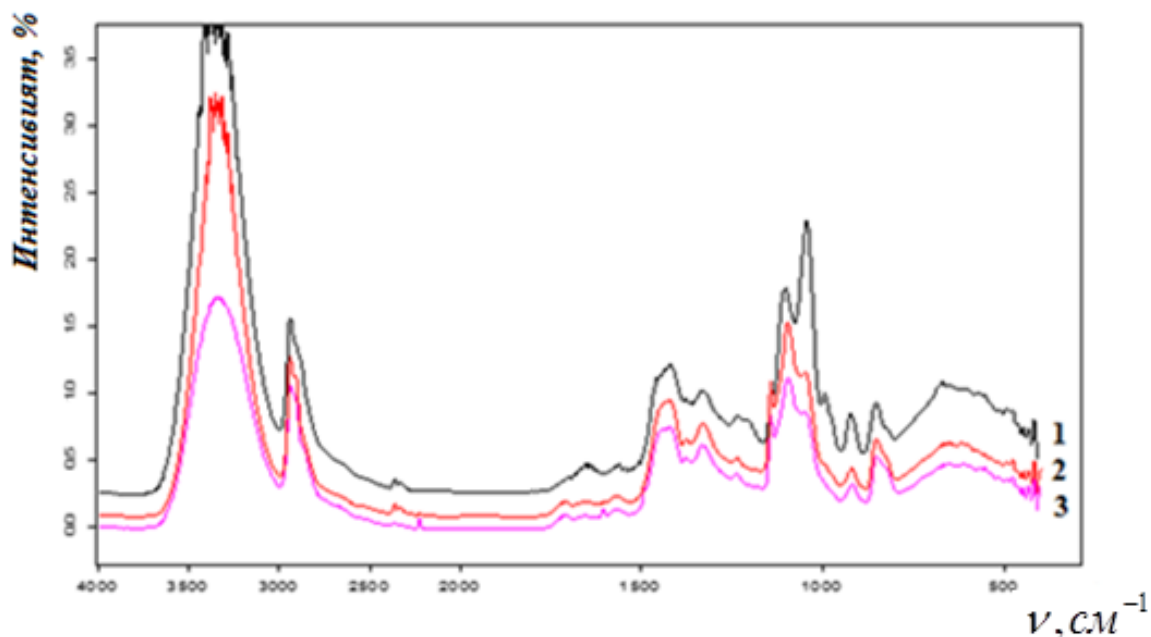
Ташаккули технологияҳои нав бе тасавури амиқи таъсири мутақобилаи молекулавӣ ва химиявӣ, ки ҳангоми таъсири байниҳмадигарии гуногуни ҷисмҳои сатҳӣ ба амал меоянд, ғайриимкон аст. Роҷеъ ба ин, омӯхтани маводи саҳт ва полимерӣ, дар мавриди истифодаи сохторҳои композитӣ ва иловаҳои онҳо барои таъиноти гуногун, яке аз масъалаҳои умдатарин ба ҳисоб меравад.

Хусусиятҳои сохторӣ ва химиявии сатҳӣ, аз як тараф, хосиятҳо ва сохтори ҷисми саҳтро дар ҳаҷм инъикос кунанд, аз тарафи дигар, онҳо дар ҷараёни равандҳо дар соҳаҳои ҳудудӣ аҳамияти ҳалкунанда доранд. Вайроншавии бандҳои байнимолекулӣ сохтори фазоии молекулаҳои модда, бастубанди онҳо дар кристалл дар спектри лаппишҳо намоён мешавад. Вобаста ба ин, дар қисми хотимавии қор оид ба омӯхтани хосиятҳои пардаҳои полимерӣ ва сохторҳои композитӣ таҷрибаҳо гузаронда шуданд.

Ҳамин тавр, таҳлили спектрҳои инфрасурхи (ИС) пардаҳои полимерӣ, ки дар таркибашон қатраҳои кристалли моеъ доранд, яке аз масъалаҳои муҳими соҳаи химия ва физикаи кристаллҳои моеъ ба ҳисоб меравад. Маълум аст, ки қатраҳои андозаи микронӣ доштаи кристаллҳои моеъ сохтори дохилии матритсаи полимериро тағйир намедиханд, зеро ин ду модда ба ҳам мувофиқ нестанд. Қабати шаффофи матритсаи полимерӣ танҳо атрофи ҳудуди қатраи кристалли моеъро ҷудо менамояд, то қатра мавқеи худро дар сохтори муайяншуда нигоҳ дорад.

Дар расми 4.1.1 натиҷаи ҷенкуниҳои таҷрибавӣ оварда шудаанд. Усулҳои тайёр кардани намунаҳо барои таҳқиқоти спектроскопӣ, инчунин бо усулҳои муайяни гирифтани спектрҳо мувофиқи дарстуру усулҳои дар боби дуюм омада, иҷро карда шудаанд. Таносуби матритсаи полимерии СПВ бо

компонентаи кристалли моеъ (СПВ:КМН 7СВ) чунин буданд: 1- СПВ дар ҳолати ибтидоӣ, 2) СПВ+7СВ (85:15%), 3) СПВ+7СВ (75:25%).



Расми 4.1.1. Спектрҳои инфрасурхи фурубурди пардаи СПВ дар ҳолати ибтидоӣ (1), СПВ+(15% 7 СВ) - 2, СПВ+(25% 7СВ)-3 дар соҳаи басомадҳо аз 4000 то 400  $\text{cm}^{-1}$

Чӣхати нисбатан содда намудани муқоисакунии спектрҳои фурубурд, хатҳои тадқиқшаванда дар қад-қати тири амудӣ ҷой дода мешаванд. Ҳамин тавр, спектрҳои намунаҳои СПВ-и дар ҳолати ибтидоӣ буда ба маълумоти адабиётҳо то андозае мувофиқат мекунад [204]. Хатҳои васеъ, ки дар соҳаи басомадҳои 3100–3600  $\text{cm}^{-1}$  пайдо гардидаанд, ба лапишҳои валентии алоқаҳои О-Н-и гурӯҳҳои таъсиркунандаи гидроксилӣ алоқаманд мебошанд.

Дар баробари ин, бандҳои фурубурд дар соҳаи басомадҳои 3000-2800  $\text{cm}^{-1}$  ба лапишҳои валентии алоқаҳои С-Н вобастагӣ доранд. Мувофиқи [166], бандҳои фурубурди дар басомадҳои 916 ва 850  $\text{cm}^{-1}$  пайдогардида, барои муайян кардани пайдарпайии синдотактикӣ ва изотактикӣ, дар СПВ истифода бурда мешаванд.

Лапишҳои валентии гурӯҳҳои  $-\text{CH}_2-$  аз ҷиҳати сохтор хассосанд ва онҳоро барои таҳлил намудани хосиятҳои сохтории полимер мавриди омӯзиш қарор додан мумкин аст. Лапишҳои қайчimonанд тақрибан дар

басомади  $1465\text{ см}^{-1}$  мушоҳида мешванд ва метавонанд бо банди мувофиқ дар спектри интиқоли ИС-и СПВ алоқаманд бошанд. Дар чунин полимерҳо лаппишҳои раққосак дар соҳаи басомади  $700\text{-}850\text{ см}^{-1}$  ҷойгиранд ва мавқеи онҳоро дар спектрҳои ИС, барои муайян намудани хусусиятҳои сохтори полимерҳо, то андозае истифода бурдан мумкин аст. Вобаста ба ин лаппишҳои бодбезакшакл ва чархишкунанда дар карбогидратҳо дар соҳаи спектралӣ  $1150\text{-}1350\text{ см}^{-1}$  ҷойгир мебошанд.

Бандҳои фурубурди бо максимумҳо дар соҳаҳои  $914$  ва  $848\text{ см}^{-1}$  мушоҳидашуда ба яке аз ин лаппишҳо алоқаманд мебошад. Мувофиқи маълумотҳои [166], бандҳои бо максимум дар басомади  $1144\text{ см}^{-1}$  пайдошуда аз дараҷаи кристаллшавии СПВ шаҳодат медиҳад. Банди мазкур дар спектрҳои, ки дар расми 4.1.1 оварда шудаанд, ба назар мерасад. Ҳамзамон, бандҳои фурубурдро бо максимумҳо дар басомадҳои  $1094$  ва  $1330\text{ см}^{-1}$  метавон мутаносибан ба лаппишҳои қачкунии О-Н ва лаппишҳои валентии алоқҳои С-О спирти дуумдараҷа СПВ алоқаманд кард.

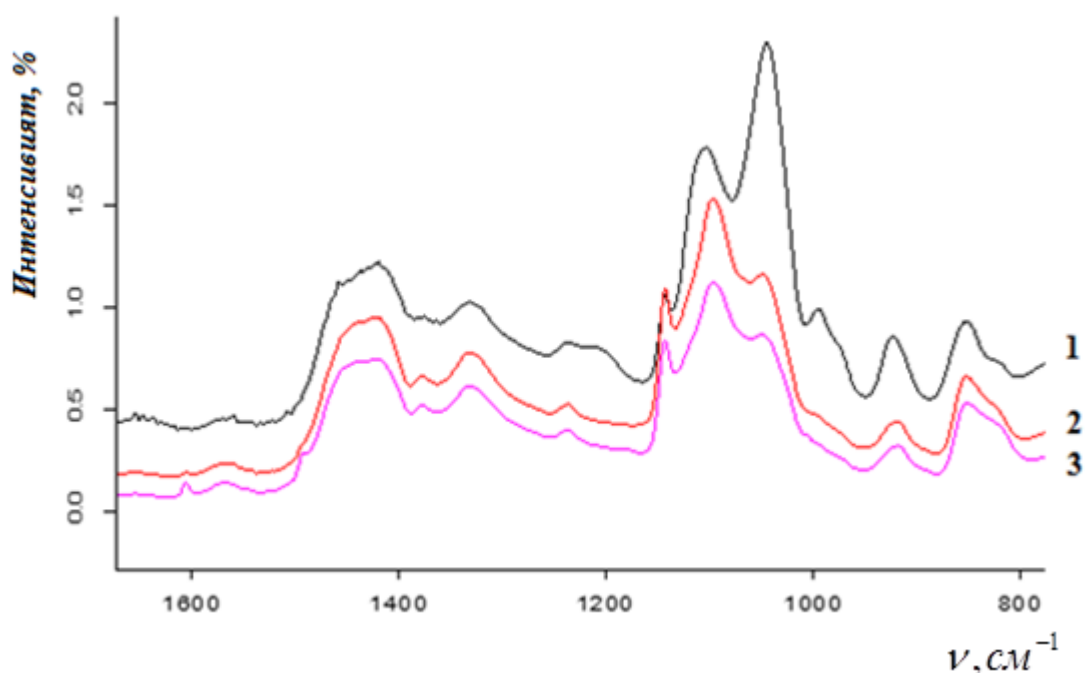
Тавре ки дар адабиёт [204] қайд шудааст, банди абсорбсионӣ дар басомади  $1144\text{ см}^{-1}$  ба дараҷаи кристаллшавии СПВ дахл дорад. Дар ин банди ҷаббиш, барои намунаҳои кристалли моеъ, афзоиши калонтарин нисбат ба намунаҳои дар ҳолати аввала буда хурдтар аст. Ба ибораи дигар, азхудкунии 7СВ дар ин банд ба дараҷаи кристаллшавии СПВ таъсир мерасонад ва дар натиҷа боиси афзоиши шиддатнокӣ мегардад.

Аз расми 4.1.1. (хатҳои 2, 3) дида мешавад, ки барои намунаи дорои 7СВ дар соҳаи басомадҳои  $2200\text{-}2225\text{ см}^{-1}$  бандҳо бо максимуме интенсивнокиаш паст пайдо шудааст. Ин банди фурубурд максимуме на он қадар баланд дар соҳаи басомадҳои  $2200\text{-}2225\text{ см}^{-1}$  бо лаппишҳои валентии Q(CN) кристалли моеи нематикӣ алоқаманд аст. Ин банд ба лаппишҳои валентии гурӯҳи полярии (қутбӣ) CN, ки бевосита дар таъсири мутақобилаи дипол-диполҳо иштирок мекунад, мувофиқат мекунад. Дар соҳаи  $2800\text{-}3100\text{ см}^{-1}$  бандҳои пайдогардидаро бевосита лаппишҳои валентии q(CH)-и ҳалқаҳои фенилӣ ва гурӯҳи алкилӣ ташкил медиҳанд.

Вобаста ба ин барои таҳлили муфассал ва нисбатан саҳеҳ спектрҳои фурӯбурди намунаҳои омӯзишӣ дар расми 4.1.2 оварда шудааст.

Банди фурӯбурд бо максимум дар басомадҳои 1094 ва 1330  $\text{см}^{-1}$ , бештар ба лаппишҳои деформатсионии гурӯҳи ОН-и спирти поливинилӣ тааллуқ дорад. Инчунин, маълум мешавад, ки интенсивнокии максималии дар бандҳои фурӯбурди пардаҳои композитӣ ҳосилшуда, нисбат ба пардаҳои СПВ дар ҳолати аввала хеле пасттар аст.

Дида мешавад, ки дар муқоиса бо намунаҳои дар ҳолати аввала қарордошта, банди фурӯбурд дар соҳаи басомадҳои 800-1600  $\text{см}^{-1}$  барои намунаҳои дорои катраҳои микроскопии КМ дошта ночиз аст. Тағйироти мазкур ба он асос ёфтааст, ки талафоти максималии интенсивнокии дар намунаҳои пардаҳои полимерӣ бо иловаҳои 7СВ дошта мушоҳида мешавад.



Расми 4.1.2. Ҷузъи спектри ИС фурӯбурди пардаҳои СПВ дар ҳолати ибтидоӣ (1), СПВ+7СВ 15% (2) ва 25% (3) дар соҳаи басомадҳои аз 1600 то 800  $\text{см}^{-1}$

Зимни таҳлили натиҷаи ченкуниҳо муайян карда шуд, ки банди фурӯбурд дар ҳудуди басомади 997  $\text{см}^{-1}$  бо лаппиши деформатсионии ОН алоқаманд аст. Ин банди фурӯбурд барои намунаҳои СПВ + 7СВ (15% хати 2) дар ҳудуди басомади 1047  $\text{см}^{-1}$  аён гардидааст (расми 4.1.2 хати 2-3). Барои намунаҳои СПВ+ 7СВ (25%), банди мазкур дар ҳолати талафёбии пурраи

интенсивнокӣ қарор дорад (хати 3). Дар соҳаи басомадҳои аз 950 то 1164 см<sup>-1</sup> тағирёбии бандҳои фурӯбурд низ мушоҳида мешавад. Маълум аст, ки банди фурӯбурд дар минтақаи 1240 см<sup>-1</sup> бо лапишҳои валентии гурӯҳи С-О-и спирти поливинилӣ алоқаманд аст. Аён аст, ки барои пардаҳои СПВ-и дар ҳолати ибтидоӣ буда чунин минтақа хеле васеъ аст ва барои пардаҳои СПВ+7СВ (15% ва 25%) ин бандҳои фурӯбурд то андозае танг аст ва интенсивноки низ нисбат ба намунаҳои дар ҳолати ибтидоӣ буда паст мешавад (расми 4.1.2, хати 2 -3).

Мувофиқи таҳлилҳо, дар соҳаи басомадҳои 1376-1418 см<sup>-1</sup> ду банди фурӯбурди дорои интенсивнокии пастӣ пайдогардида ба сохтори химиявии СПВ ва лапишҳои деформатсионии (НСН), (ССН) гурӯҳи СН<sub>3</sub>-и радикали алкилии (7СВ) алоқаманд мебошанд.

#### **4.2. Таҳқиқи таъсири қатраи нематик дар тавсифоти спектралӣ композитҳои полимерӣ**

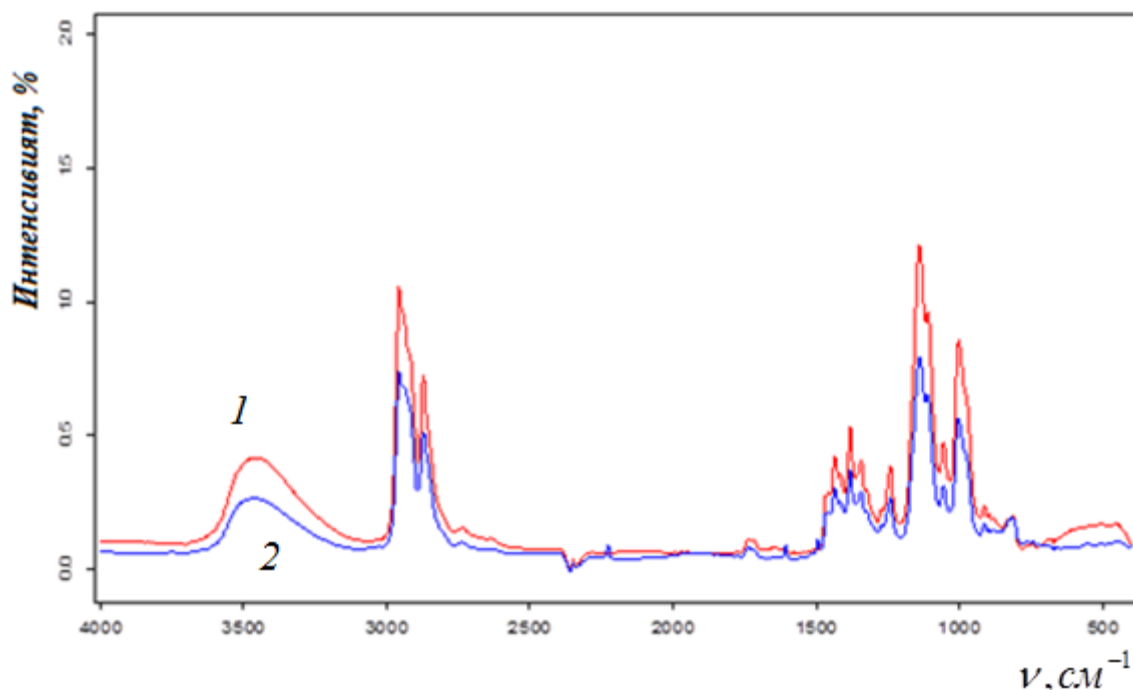
Хусусияти хоси пайвастагиҳои органикии мезогенӣ шакли полиморфизми фазаҳои саҳт доштани онҳо мебошад. Дар [205, 206] гуфта шудааст, ки мавҷудияти якчанд тағйироти кристаллӣ шартӣ зарурии пайдоиши фазаи кристалли моеъ (КМ) мебошад. Ин хулоса дар асоси тадқиқи тағйироти спектрҳои фурӯбурд ҳангоми аз ҳолати кристалл ба мезофаза ва баръакс барои синфи КМ-и сианобифенилҳо гузаронида шуд. Аммо масъалаи таъсири қатраҳои кристаллҳои моеъ, ки дар таркиби маводи пайвандкунандаи полимерӣ ҷойгир шудаанд ва сохтори онҳо баъд аз ворид намудан ҳамчун як масъалаи актуалии (таъхирнопазири) илмӣ боқӣ мемонад. Бинобар ин, дар ин қисми кор кӯшиш карда шуд, ки ин муаммо ҳангоми таҳқиқи сохти системаҳои полимерии кристалли моеъ дошата, бо усули спектроскопӣ омӯхта шавад.

Вобаста ба ин, дар расми 4.2.1 соҳаи пурраи спектрҳои инфрасурхи (ИС) ПВБ дар ҳолати ибтидоӣ нишон дода шудааст, ки ҳамчун матритса барои ба даст овардани композитҳо хизмат мекунад ва инчунин дар ҷузъҳои

дар боло зикршуда катраҳои 7СВ дорад. Ин намунаи полимерӣ бо мавҷудияти бандҳои асосии азхудкунии зерин тавсиф мешавад, ки сохтори ин полимерро тасдиқ мекунад:

3458  $\text{cm}^{-1}$  ( $\nu\text{OH}$ ), 2955, 2872, 2739, 1457, 1434 и 1380 $\text{cm}^{-1}$  ( $\nu\text{CH}$ ), 1736 и 1720  $\text{cm}^{-1}$  ( $\nu\text{C=O}$ ), 1648  $\text{cm}^{-1}$  ( $\nu$  ОН намии адсорбсияшуда), 1137 и 1108  $\text{cm}^{-1}$  ( $\nu\text{C-O-C}$ ).

Спектрҳои тозаи полимери матритсавӣ ва инчунин намунаҳои кристалли моеи нематик дошта дар расми 4.2.1 оварда шудааст.



Расми 4.2.1 Спектри ИС фурубурди пардаи ПВБ дар ҳолати ибтидоӣ (1) ва ПВБ+7СВ (2) дар соҳаи басомадҳо аз 4000 то 400  $\text{cm}^{-1}$

Дида мешавад, ки барои пардаҳои композитии КМ дошта қул्लाҳои баланди кристалли моеъ тақрибан дар байни соҳаҳои 900 ва 800  $\text{cm}^{-1}$  ҷойгиранд. Онҳо дар нататиҷаи пайдоиши бандҳои алифатикӣ ва ароматии С-Н ба вучуд меоянд ва танҳо ба молекулаҳои КМН тааллуқ доранд.

Ба назар мерасад, ки дар ҳудуди 800-700  $\text{cm}^{-1}$ -и спектри фурубурди пардаҳои композитии ПВБ+7СВ як банди мураккабшаклро бо се қуллаи интенсивнокии миёна ва қуллаи интенсивнокии паст пайдо шудааст. Мавқеи басомади қул्लाҳои мазкур дар спектри 7СВ амалан бо дарозшавии радикали

алкилӣ тағйир намеёбад, аммо интенсивноки дар байни онҳо оҳиста-оҳиста аз нав тақсим мешавад. Муайян карда шуд, ки басомадҳои ин лаппишҳо ба тағйирёбии конформатсионӣ барои ҳамаи nCB ҳассос мебошанд.

Дар спектрҳои мазкур ҳудуди хеле назаррас фосилаи басомадҳои аз 2300 то 1500  $\text{cm}^{-1}$  ба ҳисоб меравад. Бевосита дар минтақаи мазкур, кристалли моеъ ва полимер ҳар яке ҳадди ақал як қуллаи беназири такроршаванда доранд. Вобаста ба ин, як қатор спектрҳои КМ, дар полимери матритсавӣ КМ маҳлулшуда мавҷуд аст, ки аз онро қуллаҳои на он қадар калони КМ дар 2229  $\text{cm}^{-1}$  ва 1736  $\text{cm}^{-1}$  шаҳодат медиҳад. Ҳудуди мазкур дорои банди интенсивии хусусияти басомад ва шакли синфи гомологии nCB дошта мебошад. Мувофиқи натиҷаҳои таҷриба, барои намунаҳои ПВБ+7CB лаппиши валентии Q(CN) дар ин минтақа пайдо шудааст, ки ба тағйирёбии ҳисқунандагии стерикӣ компоненти 7CB алоқамандӣ дорад.

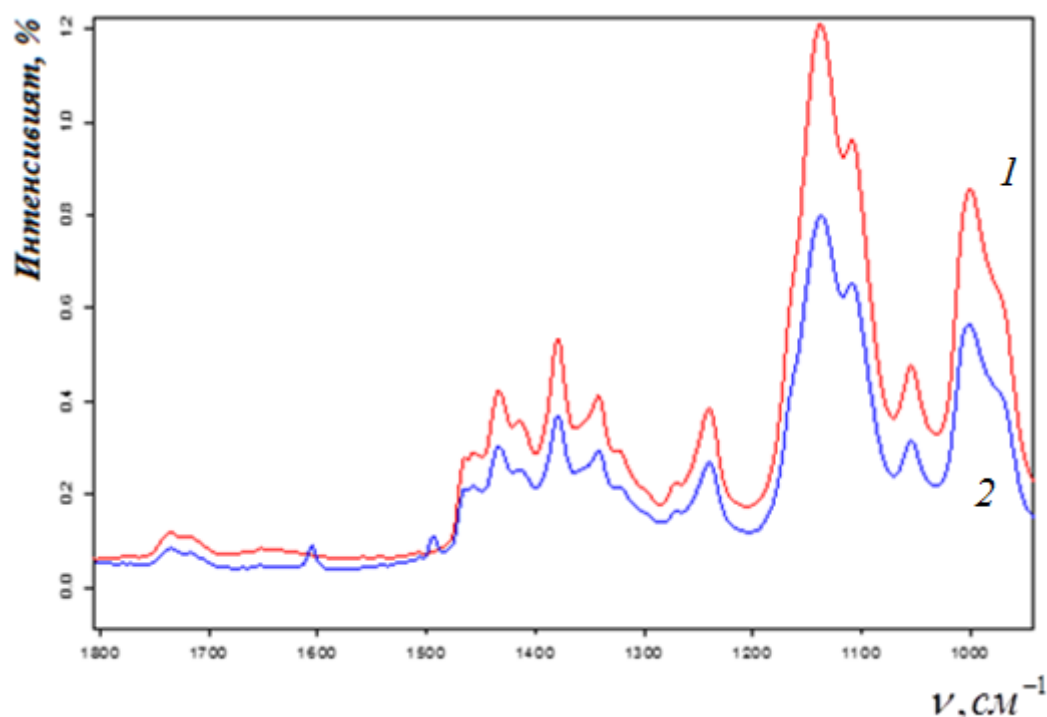
Тибқи таҷриба, дар соҳаи басомадҳои 1750-2800  $\text{cm}^{-1}$  (барои намунаҳо ПВБ+7CB) як лаппиши фундаменталӣ пайдо гардидааст, ки аз рӯи хусусияти басомади  $\nu_{\text{эксп}} = 2230 \text{ cm}^{-1}$ , ба лаппиши валентии алоқаи  $\text{C}\equiv\text{N}$  тааллуқ дорад. Ҳудуди баландбасомади 2700-3100  $\text{cm}^{-1}$  мувофиқи таҳлилҳои [206], лаппишҳои валентии C-H-ро ошкор менамояд.

Дар натиҷаи таҳлил ва тафсири спектрҳои ба даст овардашуда маълум гардид, ки кристалли моеи 7CB дар соҳаи ҳароратҳои 30,1 -42,8 $^{\circ}\text{C}$  фазаи нисбатан устувори кристалли моеи навъи нематик пайдо мешавад. Барои таҳлили муфассалтар ҷузъи спектрҳои фурубурдро дар соҳаи басомадҳои аз 1000 то 1800  $\text{cm}^{-1}$  дида мебароем, ки он дар расми 4.2.2 оварда шудааст. Матритсаи полимерии ПВБ ва 7CB ҳадди ақал як қуллаи беназир ва такроршавандаро дар ин ҳудуд доранд. Лаппишҳои  $\lambda(\text{CC})$ -и занҷири алкилӣ ҳудуди пастбасомади спектрро аз соҳаи 1000 то 1040  $\text{cm}^{-1}$  ишғол мекунанд ва онҳо бо лаппишҳои ҷузъи бифенил. то андозае омехта мешаванд.

Лаппишҳои деформатсионии ҳамвор, ки дар басомади аз 1040  $\text{cm}^{-1}$  зиёд пайдо гардидаанд, танҳо ба ҷузъи бифенил алоқамандӣ доранд. Ба ғайр аз



ин, бандҳои фурубурди дар соҳаи  $1450-1480\text{ см}^{-1}$  пайдошуда ба лаппишҳои кайчигии  $\epsilon(\text{CH})$  ва гуруҳи алкил тааллуқ доранд.



Расми 4.2.2 Чузӣ спектри ИС фурубурди пардаи ПВБ дар ҳолати ибтидоӣ (хати сурх) ва ПВБ+7СВ (хати кабуд) дар соҳаи басомадҳои аз  $1000$  то  $1800\text{ см}^{-1}$

Падидаҳое, ки зимни ченкуниҳо ва мушоҳидаҳо муайян шудаанд, имконият медиҳанд, ки спектрҳо муфассалтар омӯхта шаванд ва механизмҳои имконпазири равандҳои физикӣ дар объекти додасуда пурра шарҳ дода шаванд.

Маълум аст, ки банди фурубурди дар соҳаи  $1343\text{ см}^{-1}$  пайдо гардида ба лаппишҳои симметрии деформатсионии СН-и ПВБ алоқаманд аст. Дар соҳаи мазкур, интенсивноӣ барои намунаҳои ПВБ-и дар ҳолати ибтидоӣ буда нисбат ба намунаҳои кристалли моеъ дошта баландтар мебошад. Ба таври дигар, гуфтан мумкин аст, ки интенсивнокии ПВБ-и дар ҳолати ибтидоӣ буда, нисбат ба намунаҳои ПВБ+7СВ тақрибан ду маротиба баландтар аст. Вобаста ба ин банди фурубурд, дар ҳудуди басомади  $1240\text{ см}^{-1}$  бо лаппишҳои

симметрии валентии С-О-С алоқамандӣ доранд. Аз расми 4.2.2 ба назар мерасад, ки дар ин ҳудуди банди фурӯбурд, интенсивнокии ҳақиқии ПВБ низ аз намунаҳои ПВБ+7СВ то як андоза зиёд мебошанд.

Ҳамин тавр, дидан мумкин аст, ки чунин тағйирот дар қуллаи банди фурӯбурд бо максимуми хурд мушоҳида мешавад. Банди пайдошуда бо интенсивияти хурд дар минтақаи 1495 ва 1605  $\text{cm}^{-1}$  танҳо ба молекулаи кристаллоӣ моеъ алоқамандӣ дорад.

### **4.3. Гузаришҳои конформатсионӣ дар пардаҳои полимерии кристалли моеъ дошта**

Сианобифенилҳо як синфи махсуси кристаллоӣ моеи термотропӣ (КМ) мебошанд, ки дар дастгоҳҳои намоиши иттилоотӣ ба таври назаррас истифода мешаванд. Омӯзиши тағйиротҳо дар спектрҳои инфрасурх (ИС)-и *n*-алкил-*n*'-сианобифенилҳо (*n*СВ) дар зери таъсири омилҳои гуногуни беруна мавҷудияти ду намуди конформатсияҳои молекулавӣ дар фазаи кристаллиро нишон медиҳад [175, 206].

Натиҷаҳои таҷрибавӣ муайян намудаанд, ки басомадҳои лаппиш ва тағйирёбии интенсивнокии бандҳои фурӯбурд дар спектрҳои инфрасурхи (ИС), сианобифенилҳо (СВ) дар зери таъсири омилҳои беруна хоси бисёр пайвастагиҳои ба инҳо монанд мебошанд, ки дар онҳо изомерияи чархишӣ вучуд дорад. Мантқан дуруст аст, ки молекулаҳои СВ метавонанд дар шаклҳои гуногуни изомерии чархзананда вучуд дошта бошанд, ки конформерҳо номида мешаванд ва аз ҳамдигар танҳо бо кунҷи байни ҳамвориҳои ду ҳалқаи ҳамшафати бензол фарқ мекунанд [206]. Тибқи маълумотҳои [207], дар бифенилҳои кристаллӣ ҳалқаҳои бензол бо симметрияи  $D_{2h}$  дар як ҳамворӣ ҷойгиранд, дар ҳоле ки дар ҳолати моеъ ё газии модда ин молекулаҳо симметрияи  $C_2$  доранд ва кунҷи байни ҳамвориҳои ҳалқаҳои бензол тақрибан ба  $45^\circ$  баробар аст.

Гузаришҳои озоди конформатсионии молекулаҳои СВ ва ҳосилаҳои он имкон медиҳанд, ки таъсири байнимолекулавии онҳо бо гурӯҳҳои

хромофорҳо, ба таври таҷрибавӣ омӯхта шаванд. Бо ин мақсад системаҳои полимерию кристалли моеъгӣ, ҳангоми тағйир ёфтани таркиби яке аз компонентҳо, мувофиқтар доништа мешаванд.

Хусусиятҳои хоси басомади фурубурди гуруҳҳои химиявии полимерҳои тадқиқшаванда (ПВБ) ва шиддатнокии қуллаҳои бандҳои ҳосилшудаи спектрҳои ИС дар чадвали 1 оварда шудаанд. Натиҷаи ченкуниҳои спектралӣ дар расми 4.3.1 нишон дода шудаанд. Таҳлили муқоисавии маълумотҳо нишон дод, ки бо зиёд шудани консентратсияи КМН 7СВ дар сатҳи матритса аз 15% то 30% басомади лаппиши гурӯҳи  $C\equiv N$  аз 2328 то 2333  $cm^{-1}$  афзоиш меёбад, дар ҳоле ки интенсивнокии банди фурубурди дигар ҳолатҳо дар аксар мавридҳо, баръакс кам мешаванд.

### Чадвали 1.

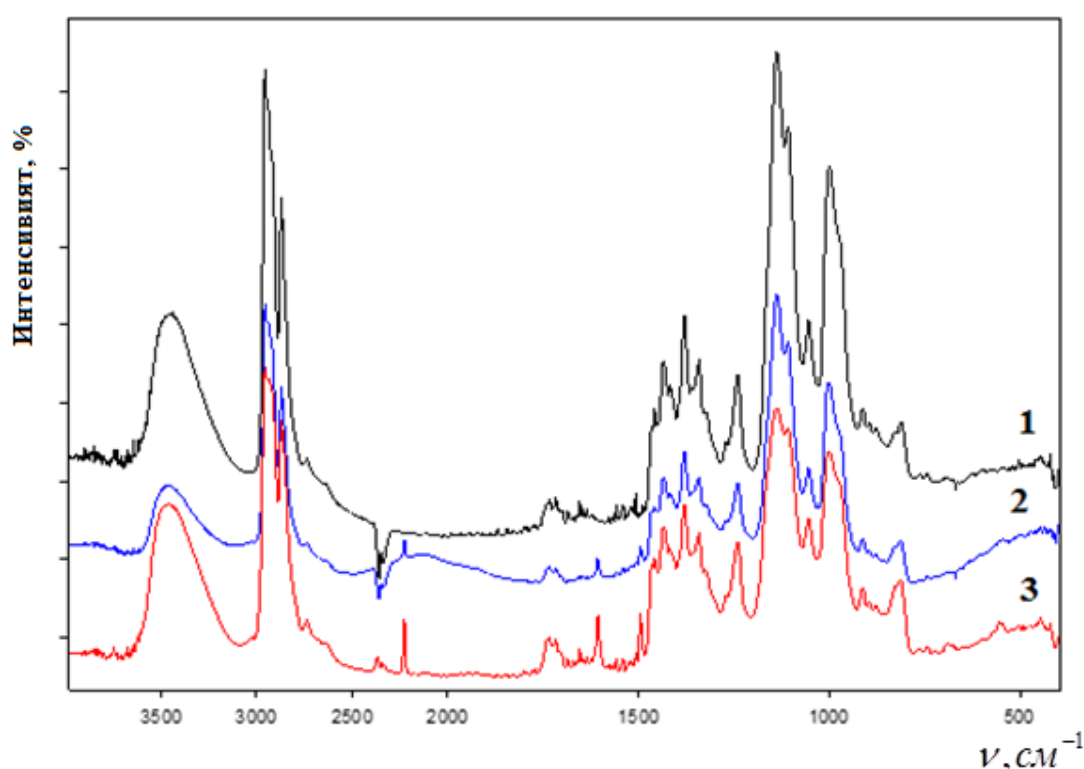
Басомадҳои фурубурди гурӯҳҳои химиявии поливинилбутирал, ки бо спектроскопияи инфрасурхи Фуре гирифта шудаанд

Намуди лаппиш	Ибтидоӣ		7СВ 15%		7СВ 20%		7СВ 25%		7СВ 30%	
	$\nu, cm^{-1}$	A	$\nu, cm^{-1}$	A	$\nu, cm^{-1}$	A	$\nu, cm^{-1}$	A	$\nu, cm^{-1}$	A
$\nu(C\equiv N)$	2328	110	2328	107	2330	89.4	2331	77.2	2333	66.4
$\nu_s(C-O)$	1068	63.1	1068	60.3	1068	55.0	1069	50.5	1069	48.0
$\nu_{as}(C-O)$	1295	274.8	1292	296.3	1289	300.6	1287	299.2	1286	296.7
$\nu(\angle COC)$	529.4	17.8	529.1	16.6	528.2	14.1	527.8	11.4	528.0	8.8
$\nu(\angle CC-H)_{Ph}$	1445	6.7	1442.5	3.35	1445	6.5	1438	5.8	1436	5.7
$\nu(CC, \angle CC-H)$	1591	1.8	1588	1.8	1589	1.76	1588	1.7	1588	1.0
$\nu_s(C-H)$	3200	19.8	3198	18.2	3192	11.0	3188	5.9	3188	7.0
$\nu_{as}(C-H)$	3202	2.3	3199	3.1	3193	8.3	3189	12.0	3188	9.1
$\nu_{as}(C-H)_{CH_3}$	3021	71.2	3021	70.7	320	69.5	3019	67.6	3018	65.1
$\nu(\angle OCH)_{CH_3}$	1209	14.5	127	30.6	1206	48.9	1205	27.3	1204	3.6
$\nu_{as}(\delta_{CH_3})$	1480	15.2	1480	15.4	1480	14.2	1480	12.6	1480	11.9

Мутаносибан, басомади лаппишҳои валентии бандҳои С-Н-и ҳалқаҳои бензолӣ ва гурӯҳҳои  $CH_3$  бо афзоиши консентратсияи 7СВ то андозае кам мешаванд. Пардаи полимери дар ҳолати ибтидоӣ будаи поливинилбутирал (ПВБ), яъне бе кристалли моеи нематикӣ 7СВ, дар ҳарорати ҳонагӣ миқдори нисбатан ками бандҳои гидрогениро дар бар мегирад. Лекин дар ин самт интенсивнокии бандҳои лаппишҳои С-Н-и ҳамвор ва ғайри ҳамвори ҳалқаҳои

бензолӣ хеле паст аст. Инчунин, айнан ҳамин ҳолат барои интенсивнокии бандҳои лаппишҳои валентии С-С-и ҳалқаҳои бензолӣ низ мушоҳида мешаванд, ки басомади онҳо дар консентратсияи 15% 7СВ муайян карда шудааст.

Инчунин, дар расми 4.3.1 нишон дода шудааст, ки басомади лаппишҳои валентӣ ва кунҷии ҷузъи СОС бо тағйирёбии таркиби композит ба таври назаррас дигаргун мешавад: дар сурати лаппишҳои симметрии валентии  $\nu_s(\text{C-O})$  танҳо  $2 \text{ см}^{-1}$  афзун гардида, дар сурати лаппишҳои ғайрисимметрии  $\nu_{as}(\text{C-O})$  бошад, ба андозаи  $10 \text{ см}^{-1}$  кам мешавад.



Расми 4.3.1 Спектри инфрасурхи фурубурди ПВБ дар ҳолати ибтидоӣ (1), ПВБ +7СВ 20% - (2) ва 30% (3) дар соҳаи басомадҳои аз 4000 то 400  $\text{см}^{-1}$

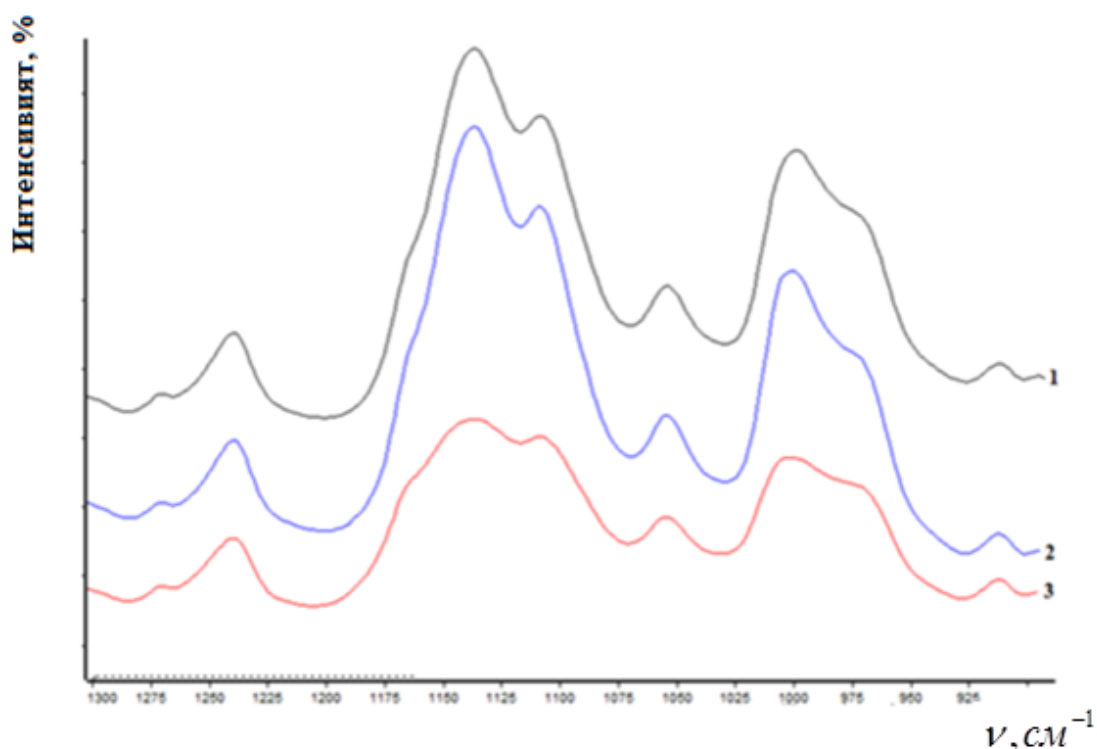
Бо вучуди ин, интенсивнокии хатҳои фурубурд дар максимуми ҳарду лаппишҳо дар ин ҳолат ба таври назаррас тағйир меёбанд: дар гурӯҳҳо барои ҳолати лаппишҳои ғайрисимметрии  $\nu_{as}(\text{C-O})$  зиёд гардида, барои лаппишҳои симметрии  $\nu_s(\text{C-O})$  кам мешавад.

Барои лаппишҳои кунҷии  $\nu(\angle \text{COC})$  ва лаппишҳои деформатсионии дохилии гурӯҳи метилӣ, ки басомади  $1480 \text{ см}^{-1}$  дорад, интенсивнокии хати

фурӯбурд бо афзуншавии консентратсияи КМН, аз ҳисоби кунчи байни ҳамвориҳои ҳалкаи бензолӣ, кам мешавад, гарчанде, ки басомади лаппиш дар ин ҳолат бетағйир мемонад.

Тағйирёбии интенсивнокии хатҳои лаппишҳои деформатсионии берунаи гурӯҳи метилии басомадаш  $1209\text{ см}^{-1}$  тавсифоти ғайримонотонӣ дорад. Дар доираи ин натиҷаҳо маълум карда шуд, ки максимуми интенсивнокӣ дар намунаҳое, ки 25%-и компонентаи КМН 7СВ-ро доранд, мушоҳида карда мешавад. Афзункунии минбаъдаи консентратсияи КМН 7СВ боиси босуръат коҳиш ёфтани интенсивнокии ин хатҳо, то қимати нулӣ барои 30%, мегардад.

Бо мақсади таҳлили муфассал ва дақиқи хатҳои фурӯбурди алоҳидаи намунаҳои омӯзишӣ, дар расми 4.3.2 ҷузъи спектрҳои ИС дар соҳаҳои басомад аз  $900$  то  $1300\text{ см}^{-1}$  оварда шудааст.



Расми 4.3.2. Ҷузъи спектри ИС фурӯбурди ПВБ (1), ПВБ+7СВ (20%) –(2) ва 30% (3) дар соҳаи басомадҳои аз  $1300$  то  $900\text{ см}^{-1}$

Тавре дида мешавад, ҳангоми гузариш аз конформатсияи ҳамвор ба перпендикулярӣ молекулаи кристалли моеи нематикӣ 7СВ, баъди

афзункунии хиссаи компонентаи кристалли моеъ камшавии басомадҳои лаппишҳои валентии бандҳои C-H дар ҳалқаҳои бензолӣ ва гурӯҳҳои метилӣ (CH<sub>3</sub>), инчунин лаппишҳои деформатсионии берунаи ин гурӯҳҳо ба 4-5 см<sup>-1</sup> мушоҳида мегардад. Барои твист-конформатсияи нисбатан устувор басомади камтарини лаппишҳои валентии C-C ҳалқаҳои фенилӣ ва интенсивнокии максималии бандҳои лаппишҳои валентии  $\nu_{as}(C-O)$  хос аст, ки ба он лаппишҳои деформатсионии берунаи C-C ва C-H гурӯҳи метилӣ низ илова мешавад.

Таҳлили муқоисавии басомадҳои лаппиш ва интенсивнокии бандҳо барои композитҳо, ки 20% ва 30% компоненти КМН ташкил медиҳад, нишон дод, ки дарозии занҷири алифатикӣ ба басомадҳои лаппиши ҳастаи атоми таркиби молекулаҳо, инчунин ба хусусиятҳои тағйирёбии онҳо, ҳангоми гардиши ҳалқаҳо, вобаста аст. Чунин манзара барои интенсивнокии бандҳои фурубурд низ мушоҳида карда мешавад. Қайд кардан лозим аст, ки дар ин ҷо 5 см<sup>-1</sup> камшавии басомади лаппишҳои валентии симметрии  $\nu_s(C-O)$  ва ба ҳамон қимат афзоиш ёфтани басомади лаппишҳои кунҷии  $\nu(COC)$  дида мешавад. Басомади лаппишҳои валентии C-H гурӯҳи метил дар конформатсияи ҳамвори молекула нисбат ба молекулаи дорои 20% КМН 7СВ дошта 15 см<sup>-1</sup> зиёд мешавад ва амалан бо зиёдшавии кунҷии гардиши ҳалқаҳои бензолӣ тағйир намеёбад. Тағйиротҳои назарраси мазкур дар лаппишҳои дохилӣ ё берунии гурӯҳи метил низ ба амал меоянд ва дар натиҷа доир ба пайдоиши басомадҳои лаппиши гурӯҳҳои CH<sub>2</sub>, ки речаҳои муътадили онҳо дар намунаҳои соҳиби 30% компоненти 7СВ мебошанд ҳаракати ҳамаи атомҳои гидрогенро аз занҷири алифатикӣ дар бар мегирад. Дар ҳолати мазкур, онҳо нисбат ба ҷузъи C<sub>3</sub>H<sub>7</sub> делокатсия карда мешаванд. Барои чунин лаппишҳо тағйирёбии назарраси басомад нисбат ба  $\nu(CH_3)$ , инчунин коҳиши интенсивнокии бандҳо мушоҳида мешавад, аммо басомад ва интенсивнокии ин бандҳо дар ин ҳолат аз кунҷи байни ҳалқаҳои бензол вобаста нест.

Ҳамин тавр, дар қисмати чоруми рисола нишон дода шуд, ки конформатсияи нисбатан устувори молекулаҳои 7СВ ( $X\equiv OCH_3$ ,  $OC_3H_7$ ) дар ҳолати ибтидоӣ твист-конформатсия бо кунчи гардиши изомерияи мономери вобаста ҳисоб меёбад. Муқаррар карда шудааст, ки гардиши ҳалқаҳои бензолӣ нисбат ба ҳамдигар боиси дигаргуншавии самтноқшавии нисбии мадорҳои мутақобилаи атомҳои карбонӣ мегардад. Тахмин меравад, ки бо зиёд шудани кунчи байни ҳамвориҳои ҳалқаҳои бензолӣ моменти диполҳои молекулаи КМН 7СВ кам мешавад ва ҳангоми гузаштан ба конформатсияи перпендикулярӣ молекула басомади лаппишҳои валентии алоқаи  $C\equiv N$  ба  $5\text{ см}^{-1}$  зиёд гардида, камшавии интенсивнокии банди ИС тақрибан 2 маротиба мушоҳида мешавад. Муқаррар карда шуд, ки дарозшавии занҷири алифатӣ дар фрагменти  $C_3H_7$  имконият намедиҳад, ки структураи геометрии молекулаҳо ба таври назаррас дигаргун шавад.

## Хулоса

### Натиҷаҳои асосии илмии диссертатсия

1. Усули технологии омодаسازی пардаҳо дар асоси омехтаи полимерҳо бо моеи кристаллии сохтор, андоза ва шакли қатраҳо, инчунин конфигуратсияи молекулаҳои кристалли моеи нематикӣ дар ҳаҷм ва сатҳи матритсаи полимерӣ идорашаванда коркард ва пешниҳод карда шуд.

2. Муқаррар карда шуд, ки бо афзуншавии ҷузъи КМ устувориҳои механикии матритсаи полимерӣ коҳиш ёфта, раванди вайроншавиро метезонад. Ҳудуди хаттии шиддати механикии пардаҳои полимери қатраҳои кристалли моеъ дошта, ки ошкор карда шуданд, ба савияи деформатсияшавӣ дар ҳамин ҳудуд, вобаста аз шароити таҷриба, мувофиқат мекунад.

3. Муайян карда шуд, ки омӯзиши хазандагии пардаҳои полимери кристалли моеъ дошта рафтори онҳоро дар соҳаи часпакию чандирии ғайрихаттӣ, ҳангоми таъсири боргузори доимӣ, тавсиф медиҳад. Ин ҳолат имконияти муайянкунии ҳудуди шиддатеро, ки барои истифодабарии полимерҳо ба сифати матритса ва амалиسازی самтгирии молекулаҳо мусоид аст, имконпазир мегардонад.

4. Нишон дода шуд, ки хусусияти тартибнокшавии молекулаҳо на танҳо аз андоза ва шакли микроҷавфҳо, балки аз сохтори молекулави кристалли моеи тадқиқшаванда низ вобаста аст. Муқаррар карда шуд, ки мезофазаи мазкур аз силсилаи алкилсианобифенилҳо, асосан ба таври гомеотропӣ самтнок мегарданд. Самтгирии дар ин ҳолат пайдо шавандаи планарӣ ё радиалии майдони директор дар зери таъсири қувваҳои беруна, бо механизми молекулавӣ ё электростатикӣ таъсири мутақобилаи ҷузъи интиҳои молекулаи кристалли моеъ бо макромолекулаҳои ПВБ, дар сарҳади тақсимот, маънидод карда мешавад.

5. Муайян карда шуд, ки ба навъи гомеотропии тартибнокшавии молекулаҳо инчунин таъсири мутақобилаи занҷирҳои алкилии нисбатан дарози ПВБ мусоидат мекунад. Равандҳои ошкор карда шудаи аз сари нав



самтнокшавии молекулаҳои кристалли моеи 7СВ дар полимери васлқунандаи ПВБ ба рақобати ҳамтъсиrotи молекулавӣ ва электростатикии занҷирҳои алкилӣ ва моменти диполӣ дар сарҳади ду муҳит алоқаманд аст.

6. Муқаррар карда шуд, ки дар ҳолати ибтидоӣ конформатсияи нисбатан устувори молекулаҳои 7СВ ( $X \equiv OCH_3$ ,  $OC_3H_7$ ) – твист-конформатсия бо кунҷи гардиши изомерияи мономери, ба ҳисоб меравад ва гардиши ҳалқаҳои бензолӣ нисбат ба ҳамдигар боиси тағйироти самтгирии нисбии орбиталҳои атомҳои мобайнии карбонӣ дар ҳалқа мегардад.

7. Исбот карда шуд, ки бо афзуншавии кунҷи байни ҳамвориҳои ҳалқаи бензолӣ, моменти диполии молекулаҳои кристалли моеи 7СВ кам шуда, ҳангоми гузариш ба конформатсияи амудии молекулаҳо афзуншавии басомади лаппиши бандҳои валентии  $C \equiv N$  ба  $5 \text{ см}^{-1}$  ва камшавии интенсивнокии хати фурӯбурди инфрасурх то 2 маротиба, мушоҳида мешавад. Ошкор карда шуд, ки дарозшавии занҷири алифатӣ дар ҷузъи  $C_3H_7$  боиси ба таври назаррас дигаргуншавии хусусияти сохтории геометрии молекулаҳо намегардад.

### **Тавсияҳо оид ба истифодаи амалии натиҷаҳои таҳқиқот:**

1.Натиҷаҳои таҷрибавии дар кори мазкур ба даст омада барои коркард ва сохтани элементҳои нав дар самти фотоника ва оптоэлектроника замина мегузоранд, зеро нишондодҳои механикӣ ва морфологрии пардаҳои омехтаи полимер бо моеи кристаллии нематикӣ ба таври назаррас беҳтар гардонида шудаанд.

2.Маводи нав дар заминаи пардаи полимерӣ ва кристалли моеи нематикӣ навъи 7СВ бо тавсифоти морфологрии беҳтар гардонида шуда коркард шуд, ки минбаъд ба сифати ҷузъи асосӣ дар технологияи дисплей татбиқ шаванда аст.

3. Натиҷаҳои ба дастовардашудаи кори мазкур барои истифода дар раванди сохтани элементҳои нави соҳаҳои оптоэлектроника, технологияи сенсорӣ ва таҷҳизотҳои индикаторӣ тавсия дода мешаванд.

4. Хулосаҳои илмӣ рисола барои муқоиса намудани натиҷаҳои корҳои илмӣ-таҷқиқотӣ дар самти омӯзиши омехтаҳои полимерию кристалли моеъгӣ бо назардошти хусусиятҳои морфологии мушаххас, тавсия дода мешаванд.

## НОМГҰИ АДАБИЁТИ ИСТИФОДАШУДА

- [1]. Блинов, Л.М. Электро- и магнитооптика жидких кристаллов. Монография / Л.М. Блинов. - М.: Наука. 1978. 384 с
- [2]. Чандрасекар, С. Жидкие кристаллы. Монография / С. Чандрасекар. - М.: Мир, 1980. - 343 с.
- [3] Reinitzer F. Contributions to the knowledge of cholesterol / F Reinitzer. // *Montash Chem.* - 1888. – V. 9. - p. 421.
- [4] Lehmann, O. Die Structure kristallinischer Flussigkeiten / O. Lehmann // *Ztschr.phys.Chem.* -1890. - V. 5-S. - P. 427-435
- [5]. Сонин, А.С. История открытия жидких кристаллов: драматические страницы / А.С. Сонин // *Вестн. Моск. Ун-та. Сер. 2. Химия.* 2002. -Т. 43. № 2. –С. 130-134.
- [6]. Томилин, М. Г. Фотоника жидких кристаллов. Монография / М. Г.Томилин, Г. Е. Невская - СПб.: Изд-во Политехи, ун-та. - 2011. – 741 с.
- [7]. Сонин, А.С. Введение в физику жидких кристаллов. Монография / А.С. Сонин. - М.: Наука. -1983. - 320 с.
- [8]. Vertogen, G. Thermotropic liquid crystals. Fundamentals / Vertogen G., de Jeu W.H. Berlin: Springer-Verlag. -1988. - 324 p.
- [9]. Жаркова, Г.М. Жидкокристаллические композиты. Монография / Г.М. Жаркова, А.С. Сонин. – Москва: Наука, - 1994. – 214 с.
- [10]. Nastishin, Yu A. Pretransitional Fluctuations in the Isotropic Phase of a Lyotropic Chromonic Liquid Crystal / Yu A. Nastishin, H. Liu, S.V. Shiyanovskii, O.D. Lavrentovich and A. Kostko, M. Anisimov // *Phys. Rev.* 2004. E 70. P.051706.
- [11]. Сонин, А.С. Дорога длиною в век / А.С. Сонин. М.: Наука. - 1988. - 223 с.
- [12]. Friedel G. les états mésomorphes de la matière / Friedel G. // *Ann. Phys.* - 1922. - V. 9, №18. - p. 273-474.
- [13]. Готра, З.Ю. Структура жидких кристаллов / З.Ю. Готра, М.В. Курик, З.М. Микитюк. Киев: Наукова думка. -1989. - 109 с.
- [14]. Dierking, I. Textures of Liquid Crystals. book / I. Dierking // ISBN: 978-3-527-60527-9 March 2006. - 230 p.
- [15]. De, Vries A. Evidence for the existsnce of more then one type of nematic phase /

- Vries A. De // *Mol. Cryst. Liq. Cryst.* 1970. V. 10. P. 31-37.
- [16]. Stewart, G.W. Alterations in the nature of a fluid from a gaseous to liquid crystalline conditions as shown by X-rays / G.W. Stewart // *Trans. Faraday Soc.*, -1933. S. 29. - P 982-990.
- [17]. Кац, Е.И. Новые типы упорядочения в жидких кристаллах / Е.И. Кац // *УФН.* -1984. -Т. 142(1). – С. 99-129
- [18]. Gray, G.W. *Molecular Structure and the Properties of Liquid Crystals* / Gray G. W. // London, Academic Press.- 1962. - P. 314
- [19]. Gray, G.W. Liquid crystals and molecular structure: smectics, in «The molecular physics of Liquid Crystals» / G.W. Gray and G.R. Luckhurst // Eds. Academic Press, London, 1979, Chapter 12. - p. 263-284.
- [20]. Gray, G. W. Liquid crystals and molecular structure: nematics and cholesterics; in «The molecular physics of Liquid Crystals» / Gray G. W, Luckhurst G. R. // Academic Press, London. - 1979, Chapter 1. - p. 1-29.
- [21]. Kuball, H.G. From chiral molecules to chiral phases: comment on the chirality of liquid crystal phases / H.G. Kuball // *Liquid Crystals Today.* – 1999. V. 9(1). - p.1-7.
- [22]. Томилин, М.Г. Взаимодействие жидких кристаллов с поверхностью. Монография / М.Г. Томилин // – СПб.: Политехника, 2001. – 325 с.
- [23]. Yang, D.K. *Fundamentals in Liquid Crystal Devices* / Yang D.-K.and Wu S.-T. // Chichester: John Wiley & Sons, Ltd. - 2006. - p. 396.
- [24]. Malik, P.; Raina, K.K. Droplet orientation and optical properties of polymer dispersed liquid crystal composite films / P. Malik, K.K Raina // *Opt. Mater.* – 2004. – V.27. - p. 613-617.
- [25]. Jakli, A. One- and Two-Dimensional Fluids: Properties of Smectic, Lamellar, and Columnar Liquid Crystals. / A. Jakli and A. Saupe // Boca Raton: Taylor & Francis, - 2006. - p. 352.
- [26]. Kurihara, S. Optical shutter driven photochemically from anisotropic polymer network containing liquid crystalline and azobenzene molecules / S. Kurihara, K.Masumoto, T.Nonaka // *Appl. Phys. Lett.* - 1998. -V. 73 - p.160-162.

- [27]. Collings, P.J. Liquid Crystals: Nature's Delicate Phase of Matter. Princeton: Princeton University Press: handbook / P.J. Collings: Bristol. -1990. - 222 pp.
- [28]. Chandrasekhar, S., Liquid Crystals. Monog. / Chandrasekhar S. // Cambridge: Cambridge University Press. - 1977. - p. 476.
- [29]. Tsvetkov, V. "On molecular order in the anisotropic liquid phase" / V. Tsvetkov // Acta Physicochim. - 1942. - V. 16, - p. 132-147
- [30]. Борен, К. Поглощение и рассеяние света малыми частицами. Монография. / К. Борен, Д. Хафмен. - Пер. С.анг. – М.: Мир. – 1986. -664 с.
- [31]. Vaz, N.A. Polymer-dispersed liquid crystal films: materials and application / N.A. Vaz // Proc.SPIE. - 1989. -V. 1080. -P. 2-10.
- [32]. Зырянов, В.Я. Измерение показателей преломления жидкого кристалла с использованием перестраиваемого источника когерентного инфракрасного излучения / В.З. Зырянов, В.Ш. Эпштейн // ПТЭ. – 1987. - № 2. – С. 164-166
- [33]. Захаров, А.В. Динамические и диэлектрические свойства жидких кристаллов / А.В. Захаров, Л.В. Миранцев // Физика твердого тела. – 2003. - Т. 45. - вып. 1. С. 174-179
- [34]. Барник, М.И. Диэлектрические свойства многокомпонентных смесей НЖК / М.И. Барник, Л.М. Блинов, А.В. Иващенко, И.М. Штыков // Кристаллография. – 1979. – Т. 24, - Вып. 4. – С. 811-816.
- [35]. Рюмцев, Е.И. Молекулярные механизмы диэлектрической поляризации и ее релаксации в НЖК / Е.И. Рюмцев, С.Е. Полушин, А.Л. Ковшик, И.В. Адоменас // Кристаллография. – 1979. - Т. 24. Вып. 3. – С. 547-552.
- [36]. Зырянов, В.Я. Эффект Фредерикса в капсулированных полимером каплях нематика / В.Я. Зырянов, В.В. Пресняков, В.Ф. Шабанов // Письма в ЖТФ. – 1996. - Т. 22, вып. 14. – С. 22-26.
- [37]. Рюмцев, Е.И. «Изотропный» механизм дисперсии нормальной составляющей диэлектрической проницаемости ЖК / Е.И. Рюмцев, С.Е. Полушин, А.Л. Ковшик и др. //Докл. АН СССР. - 1979. - Т. 244. Вып. 6. - С. 1344.
- [38]. Рюмцев, Е.Л. Механизм дипольной поляризации НЖК с отрицательной диэлектрической анизотропией / Е.Л. Рюмцев, С.Е. Полушин, А.Л. Ковшик, П.В.

- Адоменас // Кристаллография. - 1980. -Т. 25. Вып. 2. - С. 343-348.
- [39]. Rjuntsev, E.I. Dielectric relaxation in LC with  $(CH_2)$  in molecules / E.I. Rjuntsev, A.P. Kovshik, D.A. Ragimov // Mol. Cryst. Liq. Cryst. – 1999. – V. 331. - P. 21-26.
- [40]. Томилин, М.Е. Оптико-физические свойства ЖК. Температурно-частотная зависимость диэлектрической анизотропии новых ЖК композиций / М.Е. Томилин, В.А. Шешкаускас, А.Л. Ковшик // Опт.и спектр. – 1981. -Т. 51. -Вып. 6. – С. 1043-1046.
- [41]. Захаров, А.В. Упругие свойства жидких кристаллов / А.В. Захаров, М.Н. Цветкова, В.Г. Корсаков // Физика твердого тела. – 2002. – Т. 44. -Вып. 9. - С. 1715-1720.
- [42]. Гребенкин, М.Ф. Жидкокристаллические материалы. Монография / М.Ф. Гребенкин, А.В. Иващенко // М.: Химия, 1989. 288 с.
- [43]. Bradshaw, M.J. The Frank constants of some NLCs / Bradshaw M.J., Raynes E.P., J.D. Banning, T.E. Faber // J. Phys. (Paris). - 1985. - V. 46. - № 9. -P. 1513-1520.
- [44]. Meyerhofer, D. Elastic and dielectric constants in mixtures of NLCs / D. Meyerhofer // J. Appl. Phys. – 1975. - V. 46. - № 12. - P. 5084-5087.
- [45]. Чигринов, В.Е. Определение констант упругости  $K_{jj}$  и  $K_{33}$  и коэффициента вязкости НЖК из ориентационных электро-оптических эффектов / В.Е. Чигринов, М.Ф. Гребенкин // Кристаллография. -1975. -Т. 20. - Вып. 6. - С. 1240-1244.
- [46]. Береснев, Г.А. Электрооптические параметры ориентационных эффектов в слоях нематических жидких кристаллов малой толщины / Г.А.Береснев, В.А. Цветков // Микроэлектроника. – 1982. - Т. 11. - №2. - С. 181183.
- [47]. Ohtsuka, T. Electro-optical properties of nematic liquid crystal films / T. Ohtsuka, M. Tsukamoto // Jap. J. Appl. Phys. – 1971. - V. 10. - №8. - P. 1045-1050.
- [48]. Блинов, Л.М. Электрооптические эффекты в жидких кристаллах / Л.М. Блинов // УФН. – 1974. -Т. 163. -Вып.1. - С. 68-96.
- [49]. Каманина, Н.В. Электрооптические системы на основе жидких кристаллов и фуллеренов - перспективные материалы наноэлектроники. Свойства и области применения. Учебное пособие. / Н.В. Каманина - СПб: СПбГУИТМО. - 2008.-

137с.

- [50]. Пикин, С.А. Стационарное течение нематической жидкости во внешнем электрическом поле / С.А. Пикин // ЖЭТФ. – 1971. - Т. 60. - №3. - С. 1185-1190.
- [51]. Пикин, С.А. Турбулентное течение жидких кристаллов в электрическом поле / С.А. Пикин // ЖЭТФ. – 1972. - Т. 63. - №3. - С. 1115-1119.
- [52]. Zyryanov V.Ya. Electro-optics of polymer dispersed ferroelectric liquid crystals / V.Ya. Zyryanov, S.L. Smorgon, V.F. Shabanov // IV International Conference on Optics of Liquid Crystals. Abstracts. Florida, USA. – 1991. - P. 70-71.
- [53]. Шабанов, В.Ф. Оптика реальных фотонных кристаллов. Жидкокристаллические дефекты, неоднородности. Монография / В.Ф. Шабанов, С.Я. Ветров, А.В. Шабанов. Новосибирск: Издательство СО РАН, - 2005. - 209 с.
- [54]. Blinov, L.M. Electrooptic effects in liquid crystal materials. Monog. / Blinov L.M., Chigrinov V.G. - New York: Springer-Verlang. – 1994. - 464 p.
- [55]. Zhuikov, V.A. Electrooptical bistability and thermoad dressed information recording in polymer dispersed cholesterics / V.A. Zhuikov, S.L. Smorgon, V.Ya Zyryanov. and V.F. Shabanov // Proceedings SPIE. – 1995. -V. 2731. - P. 159-167.
- [56]. De Gennes, P.G. The Physics of Liquid Crystals, Science. Monog. / P.G. De Gennes and J. Prost. Publication, Oxford. – 1993. - P. 597
- [57]. Лойко, В.А. Фокусировка излучения полимерными пленками с наноразмерными каплями жидкого кристалла / В.А. Лойко, А.В. Конколович // ЖЭТФ. – 2006. - Т. 130. - Вып. 6(12), - С. 1191-1091
- [58]. Томилин, М.Г. Дисплеи на жидких кристаллах. Учебное пособие / М.Г. Томилин, Г.Е. Невская // - СПб: СПбГУ ИТМО, 2010. – 108 с.
- [59]. Yang, D.K. Fundamentals of Liquid Crystal Devices / D.K. Yang, S.T. Wu // John Wiley & Sons. 2006. 387 p.
- [60]. Mukti, P. Dielectric and electro-optical properties of polymer-stabilized liquid crystal system / P. Mukti, K.T. Pankaj, K.M. Abhishek, M.Shashwati, M. Rajiv, S. Shri // Appl. Phys. A. 2016. 122:217 DOI 10.1007/s00339-016-9749-8

- [61]. Ковальчук, А.В. Ориентация осесимметричных капель нематика электрическим полем / А.В. Ковальчук, О.В. Лаврентович, В.В. Серган // Письма в ЖТФ. – 1988. - Т. 14. - Вып. 3. - С. 197-202
- [62]. Паршин, А. М. Формирования полимерного ориентирующего покрытия в жидкокристаллических ячейках с использованием магнитного поля А.М. Паршин, В.А. Гуняков, В.Ф. Шабанов // Письма в ЖТФ. – 2008. -Т. 34. - №13. - С. 62-68.
- [63]. Кирсанов, Е.А. Нематические капли на ориентирующих подложках / Е.А. Кирсанов, В.Н. Матвеев, Ю.Н. Талюшин // Жидкие кристаллы и их прак. использ. – 2009. - №1. – С. 41-49.
- [64]. Лукьянченко Е.С. Ориентация нематических жидких кристаллов / Е.С. Лукьянченко, В.А. Козунов, В.И. Григос // Успехи хим. наук. – 1985. - Вып. 2, - С. 214-238
- [65]. Фредерикс В.К., Золина В.О. Применении магнитного поля к измерению сил, ориентирующих анизотропные жидкости в тонких однородных слоях // Ж.Р.Ф.-Х.О., ч. физич. - 1930. - Т. 62, №5. - С. 457-464
- [66]. Блинов, Л.М. Физика поверхности термотропных жидких кристаллов / Л.М. Блинов, Е.И. Кац, А.А. Сонин // Успехи физ. наук. – 1987. – Т. 152. Вып. 3. - С. 449-477.
- [67]. Зырянов, В.Я., Крахалев М.Н., Прищепа О.О., Шабанов В.А. // Ориентационно структурные превращения в каплях нематиков, обусловленные ионной модификацией межфазной границы под действием электрического поля. Письма в ЖЭТФ. – 2007. -Т. 86, Вып. 6. - С. 440-445.
- [68]. Рудяк, В.Ю. Ориентационные структуры в каплях нематика с коническими граничными условиями / Рудяк В.Ю., Крахалев М.Н., Прищепа О.О., Сутормин В.С., Емельяненко А.В., Зырянов В.Я. // Письма в ЖЭТФ. – 2017. - Т. 106. - Вып. 6. – С. 358 -364.
- [69]. Urbanski, M. Liquid Crystals in micro-scale Droplets, Shells and Fibers / Urbanski M., Reyes C. G., Noh J. H., Sharma A., Geng Y., Jampani V. S. R., and Lagerwall J. P. F.// J. Phys.: - 2017. Matter. - 29. P. 1-54.



- [70]. Lopez-Leon, T. Drops and shells of liquid crystal / T. Lopez-Leon and A. Fernandez-Nieves // *Colloid Polym.* – 2011. - P. 289 -345.
- [71]. Kitzerow, H.S. Electric field effects on the droplet structure in polymer dispersed cholesteric liquid crystals / H.S. Kitzerow, P.P. Crooker // *Liq. Cryst.* – 1993. -V. 13-N 1. – P. 31-43.
- [72]. Darmon, A. Topological defects in cholesteric liquid crystal shells / A. Darmon, M. Benzaquen, S. Copar, O. Dauchot and T. Lopez-Leon // *Soft Matter.* – 2016. - V.12. - P. 9280-9288.
- [73]. Tran, L. Lassoing saddle Splay and the Geometrical of topological defects / L. Tran, M.O. Lavrentovich, D.A. Beller, Stebe N. // *PNAS.* – 2016. - V. 113. - p .7106-7111.
- [74]. Pairam, E. Stable nematic Droplets With Handles / E. Pairam, J. Vallamkondu, V. Koning, van B.C. Zuiden, P.W. Ellis, M.A. Bates, V. Vitelli and A. // Fernandez-Nieves *PNAS.* – 2013. - V. 110. - P. 9295-9300.
- [75]. Doane, J.W. Field controlled light scattering from nematic microdroplets / J.W.Doane, N.A. Vaz, B.G. Wu, and S. Zumer // *Appl. Phys. Lett.* – 1986. - V. 48. -P. 269-271.
- [76]. Bouteiller, L. Polymer-dispersed liquid crystals / L. Bouteiller and P.Le. Barny // *Preparation, operation and application. Liquid Crystals.* – 1996. - V. 21. - p.157-174.
- [77]. Zyryanov, V.Ya. Polymer dispersed ferroelectric liquid crystals as display materials / V.Ya. Zyryanov, S.L. Smorgon, V.F. Shabanov // *Digest SID.* – 1992. – V. 23. - P. 776-777.
- [78]. Зырянов, В.Я. Модуляция света планарно-ориентированной пленкой капсулированных полимером сегнетоэлектрических жидких кристаллов / В.Я. Зырянов, С.Л. Сморгон, В.Ф. Шабанов // *Письма в ЖЭТФ.* – 1993. -Т. 57. - Вып. 1. – С. 17-20.
- [79]. Shvetsov, S.A. Communication: Orientational structure manipulation in nematic liquid crystal droplets induced by light excitation of azodendrimer dopant / S.A. Shvetsov, A.V. Emelyanenko, N.I. Boiko, J.H. Liu, A.R. Khokhlov // *Journal of Chemical Physics.* – 2017. – V. 146. - P. 1-5.

- [80]. Chen, J. Textures of cholesteric droplets controlled by photo-switching chirality at the molecular level / J. Chen, E. Lacaze, E. Brasselet, S.R. Narutyunyan, N. Katsonis, B.L. Feringa // *J. Mater. Chem. C.* – 2014. - V. 2. - P. 8137-8141
- [81]. Воловик, Г.Е. Топологическая динамика дефектов: буджумы в каплях нематика / Г.Е. Воловик, О.Д. Лаврентович // *ЖЭТФ.* – 1983. - Т. 85. - №6(12). - С. 1997-2010.
- [82]. Orlova, T. Creation and manipulation of topological states in chiral nematic microspheres / T. Orlova, S.J. Ashoff, T. Yamaguchi, N. Katsonis, E. Brasselet // *Nature Communications.* – 2015. - V. 6. - P. 7603-7609.
- [83]. Fernandez-Nieves, A. Topological Changes in Bipolar Nematic Droplets under Flow / Fernandez-Nieves A., D.R. Link, M. Marquez, and D.A. Weitz // *Phys. Rev. Lett.* – 2007. -V. 98, Issue 2. - P. 087801-1-4 (2007).
- [84]. Lee, H. G. Cholesteric Liquid crystal Droplets for Biosensors / H.G. Lee, S. Munir, and S.Y. Park // *ACS Appl. Mater. Interfaces.* – 2016. -V. 8. - P. 26407-26417.
- [85]. Gupta, J. K. Characterization of Adsorbate-Induced Ordering Transitions of Liquid Crystals Within Monodisperse Droplets / Gupta J. K., Zimmerman J. S., de Pablo J. J., Caruso F., and Abbott N. L. // *Langmuir.* – 2009. - V. 25. - P. 9016-9024.
- [86]. Drzaic, P.S. *Liquid Crystal Dispersion* / P.S. Drzaic // World Scientific Singapore. – 1995. - 429 p.
- [87]. Candau, S. Magnetic field effects in nematic and cholesteric droplets suspended in an isotropic liquid / S. Candau, P. Le Roy, and F. Debeauvais // *Mol. Cryst. Liq. Cryst.* - 1973. - V. 23. - P. 283-297.
- [88]. Drzaic, P.S. A case of mistaken identity: spontaneous formation of twisted bipolar droplets from achiral nematic materials / P.S. Drzaic // *Liq. Cryst.* – 1999. - V. 26. - P. 623-627.
- [89]. Jiang, J. Bipolar to toroidal configuration transition in liquid crystal droplets / J. Jiang, D.K. Yang // *Liquid Crystals.* – 2018. -V. 45. - P. 102-111.
- [90]. Erdmann, J. H Configuration Transition in a Nematic Liquid Crystal Confined to a Small Spherical Cavity / J.H. Erdmann, S. Zumer and J.W. Doane // *Phys. Rev. Lett.* – 1990. - V. 64. - P. 1907-1910.

- [91]. Miller, D.S. Design of Functional Materials Based on Liquid Crystalline Droplets / D.S. Miller, X. Wang and N.L. Abbott // Chem. Mater. – 2014. - V. 26. - P. 496-506.
- [92]. Dubtsov, A.V. Light and phospholipid driven structural transitions in nematic microdroplets / A.V. Dubtsov, S.V. Pasechnik, D.V. Shmeliova and S. Kralj, // Appl. Phys. Lett. – 2014. - V. 105. - P. 151606 (1 -4).
- [93]. Dubtsov, A.V. Influence of polar dopant on internal configuration of azoxybenzene nematic-in-water droplets / A.V. Dubtsov, S.V. Pasechnik, D.V. Shmeliova, D.A. Semerenko, A. Iglic, and S. Kralj // Liquid crystals. - 2018. - V. 45, - № 3. - P. 388-400.
- [94]. Khan, M. Specific detection of avidin-biotin binding using liquid crystal droplets / M. Khan and S.Y. Park, Colloids and Surfaces B: Biointerfaces. – 2015. - V. 127. P. 241-246.
- [95]. Manna, U. Liquid Crystal Chemical Sensors That Cells Can Wear Angew / U. Manna, Y.M. Zayas-Gonzalez, R.J. Carlton, F. Caruso, N.L. Abbott and D.M. Lynn // Chem. Int. – 2013. Ed. 52. - p. 14011.
- [96]. Rudyak, V.Yu. Structure transitions in oblate nematic droplets / V.Yu. Rudyak, A.V. Emelyanenko and V.A. Loiko // Phys. Rev. – 2013. - E. 88, 052501.
- [97]. Blinov, L.M. Surface physics of thermotropic liquid crystals / L.M. Blinov, E.I. Kats, and A.A. Sonin // Soviet Physics Uspekhi. – 1987. - № 30(7). - P. 604-619 (1987).
- [98]. Blinov, L.M. Experimental studies of the anchoring energy of nematic liquid crystals / L.M. Blinov, A.Y. Kabayenkov, A.A. Sonin // Liquid Crystals. – 1989. - V. 5, no. 2. - P. 645-661.
- [99]. Krakhalev, M.N. Director configurations in nematic droplets with tilted surface anchoring / M.N. Krakhalev, O.O. Prishchepa, V.S. Sutormin, V.Y. Zyryanov // Liquid Crystals. – 2017. - V. 44. - P. 355-363
- [100]. Прищепа, О.О. Пороговое поле Фредерикса в биполярных каплях нематика с сильным поверхностным сцеплением / О.О. Прищепа, А.В. Шабанов, В.Я. Зырянов, А.М.Паршин, В.Г Назаров // Письма в ЖЭТФ. – 2006. -Т. 84, - Вып. 11, - С. 723 -728.

- [101]. Kralj, S. Fréedericksz transitions in supra- $\mu\text{m}$  nematic droplets / S. Kralj, S. Zumer // *Phys. Rev.* – 1992. - A. 45. - P. 2461-2469
- [102]. Kim, Y.K. Morphogenesis of defects and tactoids during isotropic–nematic phase transition in self-assembled lyotropic chromonic liquid crystals / Y.K. Kim, S.V. Shiyanovskii and O.D. Lavrentovich // *J. Phys.: Condens. Matter.* – 2013. - V. 25. - P. 404202 (1-19).
- [103]. Томили́н, М.Г. Свойства жидкокристаллических материалов. Монография / М.Г. Томили́н, С.М. Пестов СПб.: Политехника, 2005. 295 с.
- [104]. Жаркова, Г.М. Формирование высокоструктурированного полимерно-жидкокристаллического композита методом отражательной голографии / Г.М. Жаркова, А.П. Петров, В.М. Хачатурян // *Жидкие кристаллы и их практическое использование.* – 2010. - Вып. 3. - С. 74-82.
- [105]. Shriyan, S.K. Analysis of effects of oxidized multiwalled carbon nanotubes on electro-optic polymer/liquid crystal thin film gratings / S.K. Shriyan, A.K. Fontecchio // *Opt. Express.* – 2010. - V. 18. - Is. 24. - P. 24842-24852.
- [106]. Сонин, А.С. Жидкие кристаллы, стабилизированные полимерной сетью / А.С. Сонин, Н.А. Чурочкина // *Высокомо́л. соединения.* – 2010. - Т. 52. - № 5. - С. 739-760.
- [107]. Ferguson, J.L. Polymer encapsulated NLCs for display and light control applications' / J.L. Ferguson // *SID Digest.* – 1985. - V. 16. -P. 68-70.
- [108]. Doane, J. W. Polymer dispersed liquid crystals: boojums at work / J.W. Doane // *NMR Bull.* – 1991. - V. 16. - P. 22-28.
- [109]. Lin, H. The mechanism of switching a PDLC film / H. Lin, H. Ding, J.R. Kelly // *Mol. Cryst. Liq. Cryst.* – 1995. - V. 262. - P. 99
- [110]. Ghosh, A. Evaluation of thermal performance for a smart switchable adaptive polymer dispersed liquid crystal (PDLC) glazing / Ghosh, A.; Sundaram, S.; Mallick, T.K.; Mallick, T.K. // *Sol. Energy.* – 2020. -V. 195. -P. 185-193.
- [111]. Doane, J.W. Polymer dispersed liquid crystals for display application / J.W. Doane, A. Golemme, J.L. West // *Mol. Cryst. Liq. Cryst.* – 1988. - V. 165. - P. 511-532.

- [112]. Amelia C.S. Polymer dispersed liquid crystals and related electro-optical devices -An overview / C.S. Amelia // Zenodo 6 August 2019, DOI 10.5281/zenodo.3361600 (1-18).
- [113]. Nolan, P., High on-state clarity polymer dispersed liquid crystals films / P. Nolan, M. Fillin, D. Coates // *Liq. Cryst.* – 1993. - V. 14. - № 2. P. 339-344.
- [114]. Drzaic, P.S. Nematic droplet polymer films for high-contrast colored reflective displays / P.S. Drzaic // *Display.* – 1991. - P. 2-13.
- [115]. Klosowich, S.J. New PDLC systems for sensing applications / S.J. Klosowich, M. Aleksander, K.L. Czuprynski // *Abstracts of XI Intern. Symp. Adv. Display Techn.* – 2002. Crimea. Ukraine. - P. 47.
- [116]. Zyryanov, V.Ya. Light modulation characteristics of single-polarizer PDFLC cell / V.Ya. Zyryanov, E.P. Pozhidaev, S.L. Smorgon // *Ferroelectrics.* – 2000. - Issue 1. - V. 243. P. 179-188.
- [117]. Zyryanov, V.Ya., Light modulation characteristics of single-polarizer electrooptical cell based on polymer dispersed FLCs / V.Ya. Zyryanov, E.P. Pozhidaev, S.L. Smorgon // *Liq. Cryst.* – 2001. - V. 28. - № 5. - P. 741-748.
- [118]. Bunning, T.J. Holographic polymer-dispersed liquid crystal (H-PDLC) /T.J. Bunning, L.V.Natarajan, V.P. Tondiglia et al. // *Annu. Rev. Mater. Sci.* – 2000. - V. 30. - P. 83-115.
- [119]. Жаркова, Г.М. Поляризационные голографические решетки в жидкокристаллических композитах / Г.М. Жаркова, А.П. Петров, С.А. Стрельцов, В.М. Хачатурян // *Вестник НГУ, Сер. Физика.* – 2012. - Т. 7.- вып. 2, - С. 5-14
- [120]. Zhou, L. Effect of functionality of thiol on the optical properties of liquid crystals/polymer composite films / L. Zhou, G.Chen, W. Shen, C. Zhang, Z. Lanying // *Liq. Cryst.* - 2020. - V. 5. - P. 1-9.
- [121]. Данилов, В.В. Эффект оптического ограничения в системе ХЖК-фуллерен / В.В. Данилов, Л.Е. Калинин, Н.В. Каманина, С.Л. Тульский // *Письма в ЖТФ.* – 1998. - Т. 24. - №9. – С. 66-68.

- [122]. Gryaznova, M.V. Borrmann cells as optical switches / M.V. Gryaznova, V.V. Danilov, N.V. Kamanina, V.A. Smirnova, S.V. Fedorov // *Opt. and Spectr.* – 1998. -V. 86. - № 6. - P. 938-941.
- [123]. Deschenaux, R. Liquid-crystalline fullerenes: design, synthesis, and properties / R. Deschenaux // *Book of Abstr. 19-th ILCC 2002. Edinburgh.* – 2002. - P. 1-16.
- [124]. Georgey, V. New developments in LCs / Ed.: V. Georgey // *Tkachenko. Olajnica 19/2, 32000 Vankovar. Croatia.* – 2009. - P. 234.
- [125]. Vill, V. Conception and realization of a liquid crystal database / V. Vill // *LC Today.* – 1995. - Vol. 5. - № 3. – P. 6-7.
- [126]. Kelly, S. Materials science of liquid crystals / S. Kelly // *Taylor & Francis.* - 2003. 387 p.
- [127]. Deng, K.Y. Fundamentals of liquid crystal devices / K.Y. Deng, T.Wu Shin // *Wiley*; 2 edition (28 Nov. 2014) 592 p.
- [128]. Афонин, О.А. О характеристике капсулированных нематических жидких кристаллов / О.А. Афонин, В.Ф. Названов // *ЖТФ.* – 1990. - Т. 60. - Вып. 10. - С. 93-99.
- [129]. Simoni F. Nonlinear Optical Properties of Liquid Crystals and Polymer Dispersed Liquid Crystals / F.Simoni // *World Scientific, Singapore.* – 1997. - p. 259.
- [130]. Zyryanov, V.Ya. Elongated films of polymer dispersed liquid crystals as scattering polarizers / V.Ya. Zyryanov, S.L. Smorgon, V.F. Shabanov // *Molecular Engineering.* – 1992. - V. 1, №. 4. - P. 305-310
- [131]. Basile, F. Optical phase shift of polymer-dispersed liquid crystals / F. Basile, F. Bloisi, L. Vicari and F. Simoni // *Phys. Rev.* – 1993. - E. 48. - P. 432.
- [132]. Kowel, S.T. Focusing by electrical modulation of refraction in a liquid crystal cell / S.T. Kowel, D.S. Cleverly and P. G. Kornreich // *Appl. Opt.* – 1984. - V. 23. -P. 278-289.
- [133]. Лойко, В.А. Изменение фазы плоской волны при прохождении через полимерную с наноразмерными нематическими каплями жидкого кристалла / В.А. Лойко, А.В. Конколович // *ЖЭТФ.* – 2003. - Т. 123. - Вып. 3. - С. 552-559.
- [134]. Лойко, В.А. Поляризация изучения, прошедшего полимерную пленку с

наноразмерными каплями жидкого кристалла / В.А. Лойко, А.В. Конколович // ЖЭТФ. – 2004. - Т. 126. - Вып. 2(8). - С. 385-394.

[135]. Lisinetskaya, P.G. Polarization properties of polymer-dispersed liquid-crystal film with small nematic droplets / P.G. Lisinetskaya, A.V. Konkolovich and A.V. Loiko // Appl. Opt. – 2009. - V. 48. - P. 3144.

[136]. Khan, A. Progress in flexible and drapable reflective cholesteric displays / A. Khan, I. Shiyanovskaya, T. Schneider et al. // J. SID. – 2007. - V. 15. - P. 9-16

[137]. West, J.L. Pat. 4.685.771 US, МКИ G02F 1/13. Liquid crystal display material comprising a liquid crystal dispersion in a thermoplastic resin / J.L. West, J.W. Doane, S. Zumer // ' Publ. 11.08.87.

[138]. Зырянов, В.Я. Структурные, оптические и электрооптические свойства одноосно ориентированных пленок капсулированных полимером жидких кристаллов / В.Я. Зырянов // Автореферат дис.д-ра физ.-мат. наук. -Красноярск, 2002. 39 с.

[139]. Dubois-Violette, E. Local Frederiks transitions near a solid nematic interface / Dubois-Violette E. and De Gennes P. G. // J. de Phys. – 1975. - V. 36. - P. 255-258.

[140]. Лойко, В.А. Нарушение симметрии малоуглового рассеяния света в пленках капсулированных полимером жидких кристаллов с неоднородным электроуправляемым межфазным поверхностным сцеплением / В.А. Лойко, А.В. Конколович, В.Я. Зырянов, А.А. Мискевич // ЖЭТФ. – 2017. - Т. 151, - Вып. 3. - С. 457-475.

[141]. Сутормин, В.С. Температурно индуцированные изменения конфигурации директора в каплях нематика, диспергированного в поливинилпирролидоне / В.С. Сутормин, М.Н. Крахалев, О.О. Прищепа // Journal of Siberian Federal University. Mathematics & Physics. – 2009. 2(3). - С. 352-359.

[142]. West, J.L. Liquid crystal display material comprising a liquid crystal dispersion in a thermoplastic resin / J.L. West, J.W. Doane, S. Zumer // Patent US 4.685.771. Int.Cl. G02F 1/13. Publ. 11.08.1987.

- [143]. Presnyakov, V.V. Friedericksz threshold in bipolar nematic droplets with rigidly fixed poles / V.V. Presnyakov, V.Ya. Zyryanov, A.V. Shabanov, S.Ya. Vetrov // *Ibid* - 1999. - V. 329. - P. 27-34.
- [144]. Боровой, А.Г. Рассеяние волн на системе коррелированных центров / А.Г. Боровой, А.В. Ивонин // *Изв. вузов. Физика.* – 1981. - Вып. 5. - С. 31-36.
- [145]. Иванов, А.П. Распространение света в плотноупакованных дисперсных средах. Монография / А.П. Иванов, В.А. Лойко и др. // Минск: Наука и техника, 1988. 191 с.
- [146]. Presnyakov, V.V. Interference effect in electrooptical cells based on PDNLC monolayer / V.V. Presnyakov, A.V. Shabanov, V.Ya. Zyryanov, et al. // *Proceedings SPIE.* – 2001. - V. 4511. - P. 117-118.
- [147]. Zyryanov, V.Ya. High contrast light modulator based on PDNLC monolayer / V.Ya. Zyryanov, V.V. Presnyakov, A.N. Serebrennikov, et al. // *Mol. Cryst. Liq. Cryst.* – 2001. - V. 368. - P. 3983-3990.
- [148]. Эгамов, М.Х. Анизотропия светорассеяния полимерно-жидкокристаллических композиционных систем при одноосном растяжении / М.Х. Эгамов // *Фундаментальные проблемы современного материаловедения.* Барнаул. – 2012. - Т. 9. Вып. 4-2. - С. 675-680
- [149]. Эгамов, М.Х., Поляризующие свойства вытянутой пленки капсулированного полимером жидкого кристалла с примесью сурфактанта / М.Х. Эгамов, В.П. Герасимов, М.Н. Крахалев, О.О. Прищепа, В.А. Лойко, В.Я. Зырянов // *Оптический журнал.* – 2014. -Т. 81. - № 7. – С. 67-71.
- [150]. Классификатор свойств полимерных материалов. М.: ВНИКИ Госстандарта СССР, 1974. 43 с.
- [151]. Козлов, Н.А. Физика полимеров. Учебное пособие / Н.А. Козлов, А.Д. Митрофанов // *Владим. гос. ун-т; Владимир.* 2001. - 345 с.
- [152]. Бартенев, Г.М. Физика и механика полимеров. Учебное пособие / Г.М. Бартенев, Ю.В. Зеленев // М.: Высш. шк., 1983. - 391 с.
- [153]. Robert, F.L. *Mechanical Properties of Polymers and Composites* / F.L. Robert, E.N. Lawrence // Published December 14, 1993 by CRC Press, - 580 Pages



- [154]. Гуль, В.Е. Структура и прочность полимеров. Книга / Гуль В.Е. М.: Химия, 1978. – 350 с.
- [155]. Гуль, В.Е. Структура и механические свойства полимеров. Книга / В.Е. Гуль, В.Н. Кулезнев // М.: Высш. шк., 1979. – 351 с.
- [156]. Кауш, Г. Разрушение полимеров. Монография. / Г. Кауш // - М.: Мир, 1981. – 440 с.
- [157]. Нильсен, Л. Механические свойства полимеров и полимерных композиций. Монография / Нильсен Л. // - М.: Химия. 1978. – 312 с.
- [158]. Регель, В.Р. Кинетическая теория прочности твердых тел. Монография / В.Р. Регель, А.И. Слуцкер, Э.Е. Томашевский. – М.: Наука, 1974. – 560 с.
- [159]. Юдин, В.Е. Вязко-упругость полимерной матрицы и разрушение теплостойких волокнистых композитов / В.Е. Юдин, А.М. Лексовский // Физика твердого тела. – 2005. - Т. 47. Вып. 5. - С. 944-950.
- [160]. Ванин, Г.А. Основы статистической механики композитных систем / Г.А. Ванин // Механика композитных материалов. – 1988. - №1.- С. 21-26
- [161]. Тамужа, В.П. Разрушение конструкций из композитных материалов / В.П. Тамужа // Под ред. Зинатне, Рига. – 1986. - 264 с.
- [162]. Абдуманонов, А. К вопросу об эффекте динамической перегрузки при разрыве армирующих волокон в композиционном материале / А. Абдуманонов, Г.Х. Нарзуллаев, А.М. Лексовский. // Механизмы повреждаемости и прочности гетерогенных материалов. Л., ФТИ. – 1985. - С. 114-116.
- [163]. Абдуманонов А. Механизм разрушения КМ пластичная матрица-хрупкое волокно на основе системы А1-В. -Дисс. . к.ф-м.н. Л., 1981, -158 с.
- [164]. Юдин, В.Е. Влияние диссипативных свойств связующего на процесс разрушения углепластиков / В.Е. Юдин, А.М. Лексовский, Г.Х. Нарзуллаев, Б.А. Зайцев, Л.Н. Коржавин, С.Я. Френкель // Механика композиционных материалов / 1986. №6. С. 1021-1028.
- [165]. Туйчиев, Ш. Влияния малых добавок многослойных углеродных нанотрубок на структуру и физические свойства полимеров / Ш. Туйчиев, Б.М.

Гинзбург, Д. Рашидов, С. Табаров, А. Мухамад // ДАН РТ. – 2010. - Т. 53. - №8 - С. 627-632.

[166]. Розенберг, М.Э. Полимеры на основе поливинилацетата / М.Э. Розенберг // Ленинград, Химия -1983. -174 с.

[167]. Polyvinyl Butyral (PVB) Market by Application: Markets and Markets Research Reports, Charing: Report Buyer Ltd, 2014.

[168]. Kataev, V.M. Polymer Handbook Eds. / V. M. Kataev, V. A. Popov, B. I. Sazhin // Moskow: Khimiya, 1975 (in Russian).

[169]. Ломоносова, В.Н. Ориентационное поведение и механические свойства высокомолекулярного поливинилового спирта / В.Н. Ломоносова, И.В. Луховицкий, И.А. Карпо // Высокомолекулярные соединения, серия А. - 2000. - Т. 42. - №. - С. 43-49.

[170]. Роговина, Л.З. Влияние растворителя на процесс студнеобразования поливинилового спирта / Л.З. Роговина, Г.Л. Слонимский, Л.С. Гембицкий, Е.А. Серова, В.А. Григорьева, Е.Н. Губенкова // Высокомолек. Высокомолекулярные соединения, серия А. – 1973. - Т. 15 - № 6. -С. 1256-1261.

[171]. Yamamura, K. Preparation of high modulus poly (vinyl alcohol) by drawing / K.Yamamura, T. Namigami, N. Hayashi // J. Appl. Polym. Sci. –1990. -V. 40. -P. 905.

[172]. Бойцова, Т.Б. Фотохимический метод регулирования дисперсного состава наноструктур переходных металлов / Т.Б. Бойцова, В.В. Горбунова // Журн. общ.химии. – 2003. - Т. 72. - №4. - С. 688-703.

[173]. Morsy, M.A. Nonmesomorphic Solute Mesomorphic Solvent Interactions Studies. 2. ESR Studies on the Different Phases of 5CB, 6CB, 7CB, and 8CB Liquid Crystals Using PD -Tempone and Tempo-Palmitate as Probes. Structural and Conformational Effects. / M.A. Morsy, G.A. Oweimreen, J.S. Hwang // J. Phys.Chem. – 1996. V. 100. – P. 8331-8337.

[174]. Kuribayashi, M. Crystal structures of 4-cyano-4'-hexylbiphenyl (6CB) and 4-cyano-4'-heptylbiphenyl (7CB) in relation to odd-even effects / M. Kuribayashi, K. Hori // Liq. Cristals, 1999. V. 26, N6, P. 809-815.

- [175]. Трухачев, С.В. ИК-спектры, конформационная подвижность и межмолекулярное взаимодействие в 4-*n*-алкил-4'-цианобифенилах / С.В. Трухачев // Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук. – 2009. 18 с.
- [176]. Diederik, S. Temperature-controlled random laser action in liquid crystal infiltrated systems / S. Diederik // *Physical Review*. E66, - 2002. – P. 056612-1-5.
- [177]. Crawford, G.P. Liquid Crystals in Complex Geometries / G.P. Crawford, S. Zumer // London, Taylor & Francis Publ. Ltd. – 1996. – P. 584.
- [178]. Pat.3.697.297 US, МКИВ01j 13/02. Gelatine-Gumarabic capsules containing cholesteric liquid crystal material / D.Churchill, I.V.Carmell, R.E.Miller. Publ.10.72.
- [179]. Doane, J.W. Polymer dispersed liquid crystal displays / J.W. Doane // *Liquid Crystals, Applications and Uses* / Ed. by B.Bahadur. -Word Scientific. – 1990. - Chap. 14. - P. 361-395.
- [180]. Nomura, H. Electrooptical properties of polymer films containing nematic liquid crystal microdroplets / H. Nomura, S. Suzuki, Y. Atarashi // *Jap. J. Appl. Phys.* – 1990. - V. 29. - N 3. - P. 522-528.
- [181]. Томашевский, Э.Е. Устройство для поддержания постоянного напряжения в одноосно растягиваемом образце / Э.Е. Томашевский, А.И. Слуцкер // *Зав. лаб.* – 1963. -Т. 29. - Вып. 8. - С. 994-996.
- [182]. Журков, С.Н. Исследование прочности твердых тел. / С.Н. Журков, Э.Е. Томашевский // *П. ЖТФ.* – 1955. - № 101. – С. 66-73.
- [183]. Wu, Y.H. Submillisecond response variable optical attenuator based on sheared polymer network liquid crystal / Y.H. Wu, Y.H. Lin, Y.Q. Lu, Y.H. Fan, J.R. Wu, S.T. Wu // *Optics Express.* – 2004. - V. 12. - №. 25. – P. 6382-6389.
- [184]. Каценеленбаум, Б.З. Высокочастотная электродинамика. Учебное пособие / Б.З. Каценеленбаум // - М.: Наука, 1966. - 242 с.
- [185]. Новодворец, Л.А. Испытания силовых конденсаторных установок. Учебное пособие / Л.А. Новодворец // М.: Энергия, 1971. - 262 с.
- [186]. Шаимов Э.Дж. Структура, механические и электрические свойства фуллеренсодержащих пленок полиметилметакрилата, полученных из общих

- растворов в ароматических растворителях / Э.Дж. Шаимов // Диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, науч.рук. Абдуллаев Х. М. Таджикистан 2017, 129 с.
- [187]. Луцейкин, Г.А. Методы исследования электрических свойств полимеров / Г.А.Луцейкин // М.: Химия. - 1988. - 160 с.
- [188]. Белл, Р.Дж. «Введение в Фурье-спектроскопию», перевод с английского под редакцией. Монография / Р.Дж. Белл Г.Н. Жижина // - М.: Мир, 1975. – 382 с.
- [189]. Описание инфракрасный спектрофотометр с преобразованием Фурье IRAffinity-1, Shimadzu. Япония - 2013. 35с.
- [190]. Бобоев, Т.Б., Фылатов В.В. Влияние физической модификации на прочность полимерных композиционных материалов / Т.Б. Бобоев, В.В. Фылатов // ДАН Республика Таджикистан. – 1999. - Т. 42. - №12. – С. 26 -28
- [191]. Слезов, В.В. Эвомация микроструктуры в облучаемых материалах / В.В. Слезов, А.В. Суббатин, О.А. Осмаев // ФТТ. – 2005. - Т. 47. Вып. 3. - С. 463-469.
- [192]. Каримов, С.К. Влияние солнечной радиации на механические свойства полимеров, модифицированных жидкими кристаллами / С.К. Каримов, А. Абдуманонов // Учён.зап. ХГУ. – 2016. - №3. - С. 37-41.
- [193]. Энциклопедия полимеров М.: Советская энциклопедия, 1974. Т.2.- 1224 с.
- [194]. Гусенко, А.Р. Влияние скорости нагружения на прочность композиционных материалов при высоких температурах / А.Р. Гусенко // Вестник НТУУ «КПИ», серия машиностроение. – 2016. - №3 (78). - С. 101-105
- [195]. Димитриенко, Ю.И. Механика композиционных материалов при высоких температурах. Монография / Ю.И. Димитриенко. - М.: Машиностроение, 1997. - 368 с.
- [196]. Малкин, А.Я. Методы измерения механических свойств полимеров. / А.Я. Малкин, А.А. Аскадский, В.В. Коврига. - М.: Химия, 1978. - 336с.
- [197]. Вихаускас, З.С. Исследование механической работоспособности полиимидной пленки в условиях ползучести / З.С. Вихаускас, Р.Б. Банявичус, А.А. Аскадский, А.И. Морма // Высокомолек. соед. А. – 1983. -Т. 25. - №11. – С.2351-2356.

- [198]. Gedde, U.W. Dielectric relaxation of liquid crystalline side-chain poly(vinyl ether)s / U.W. Gedde, F. Liut, A. Hult, F. Sahl6n and R. H. Boyd // POLYMER. – 1994. - V. 35. - №10. - P. 2056-2062.
- [199]. Green, D.I. Mechanical and dielectric relaxations in liquid crystalline copolyesters / D.I. Green, G.R. Davies, I.M.Ward, M.H. Alhaj-Mohammed, S.A. Jawad // Polymer for Advanced Technologies. – 1990. V.1. No 1. P. 41
- [200]. Barsoukov, E., Macdonald J. R. Impedance spectroscopy: Theory, Experiment, and Applications. Hoboken: Wiley Publ., 2018. 528 p.
- [201]. Raju, G.G. Dielectrics in electric fields: Tables, Atoms, and Molecules; second edition. Boca Raton, CRC Press Publ., 2016. 751 p.
- [202]. Каримов, С.К. Взаимосвязь диэлектрических и механических свойств плёнок на основе полимера и жидкого кристалла / С.К. Каримов // Известия НАНТ - 2022, №2(187). - С.49-54.
- [203]. Беляев, Б.А., Диэлектрические свойства жидких кристаллов в поликапиллярных матрицах / Б.А. Беляев, Н.А. Дрокин, М.А. Кумахов, В.Ф. Шабанов // ФТТ. – 2010. -Т. 52. - Вып. 6. – С. 1233-1239.
- [204]. Купцов, А.Х. Фурье-КР- и Фурье-ИК-спектры полимеров: Справочник / А.Х. Купцов, Г.Н. Жижин. Физматлит. - М. – 2001. - 656 с.
- [205]. Колесников, В.А. Эффект переключения проводимости в тонких полимерных слоях / В.А. Колесников, М.Г.Тедорадзе, А.Р.Тамеев, А.В. Ванников // Высокомолек. соед. - 2008. – Том 50. - №11. – С. 2023-2028.
- [206]. Зотов, С.К. Инфракрасный спектр и структура молекулы 4-гептил-4'-цианобифенила / С.К. Зотов, К.В. Березин, В.В. Нечаев // Журнал физической химии. 2004. Т. 78. № 11. –с.204-2047
- [207]. Каримов, С.К. Конформационные переходы в капсулированных полимером жидкокристаллических пленках / С.К. Каримов, М.Х. Эгамов, А. Абдуманонов // Доклады НАНТ. – 2022. Т.65. №1-2. – С.75-80 .
- [208]. Наканиси, К. Инфракрасные спектры и строение органических соединений. Учебное пособие / К. Наканиси. - М.: Мир, 1965. – 216 с.

## ИНТИШОРОТ АЗ РҶИ МАВЗҶИ ДИССЕРТАТСИЯ

Мақолаҳои дар маҷаллаҳои илмии тавсия намудаи ҚОА-и назди

Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон нашршуда

- [1-М]. **Каримов, С.К.** Влияние солнечной радиации на механические свойства полимеров, модифицированных жидкими кристаллами /А. Абдуманонов, **С.К. Каримов** //Учён. зап. ХГУ, 2016, №3, с.37-41.
- [2-М]. **Каримов, С.К.** Вобастагии мустақкамӣ ва деформатсияшавии полиэтилен аз таъсири радиатсияи офтоб / А.А.Абдуманонов, **С.К. Каримов** //Номаи донишгоҳи ДДХ ба номи Б. Гафуров. 2015 №1/32, С.27-31.
- [3-М]. **Каримов, С.К.** Исследования электрофизических свойств полимерно-жидкокристаллических пленок / П.Т. Мамаджонов, М.Х. Эгамов, **С.К. Каримов** //Учён.зап. ХГУ, №1-2017, С.111-114.
- [4-М]. **Каримов, С.К.** Анализ ИК-спектров поглощения полимерных композитов, диспергированных жидкими кристаллами / **С.К. Каримов, А. Абдуманонов** //Ученые записки ХГУ им.акад. Б. Гафурова. Естественные и эконом. науки. – Худжанд., 2019, №1, С. 29-34.
- [5-М]. **Каримов, С.К.** Конформационные переходы в капсулированных полимером жидкокристаллических пленках / **С.К. Каримов, М.Х. Эгамов, А. Абдуманонов** Доклады НАНТ 2022, Т.65, №1-2.-С.75-80 .
- [6-М]. **Каримов, С.К.** Взаимосвязь диэлектрических и механических свойств плёнок на основе полимера и жидкого кристалла / **С.К. Каримов** //Известия НАНТ 2022, №2(187). –С.49-54.
- [7-М]. **Каримов, С.К.** Влияние температуры на механические свойства композитных пленок на основе полимера и жидкого кристалла / **С.К. Каримов, М.Х. Эгамов** // Учёные записки ХГУ, серия естественные и экономические науки, 2022, №3(62). – С. 61-64.
- [8-М]. **Каримов, С.К.** Влияние температуры на электрофизические характеристики полимерно-жидкокристаллических композитов / **С.К. Каримов** // «Вестник Бохтарского государственного университета имени Н. Хусрава», серия естественных наук. №3 -2022. – С. 49-53.

**[9-М]. Каримов, С.К.** Температурные зависимость механических параметров полимерно-жидкокристаллических пленок / С.К. Каримов, Б.И. Махсудов // Международный научно-практический журнал. г. Алматы, Казахстан. 28-октября 2022 г. – 369-372.

**Мақолаҳои дар маводҳои конформсионӣ ва  
байналмиллалӣ нашршуда**

**[10-М]. Каримов, С.К.** Эмульсионный способ приготовления полимерно-жидкокристаллических композиционных пленок. /М.Х. Эгамов, А.А. Абдуманонов, **С.К. Каримов** //Материалы междунар.конф. «Нано - 2014», посвящённой 90 летию столицы Респ. Таджикистан города Душанбе, ТНУ, С.30-34.

**[11-М]. Каримов, С.К.** Влияние формы и размер капель нематика на прочность полимерного композита / **С.К. Каримов** // Материалы республиканской научно-практической конференции «Проблемы современной физики», посвященной 75- летию профессора Х. Абдуллозаде, г. Худжанд С. 190 -191.

**[12-М]. Каримов, С.К.** Омӯзиши мустаҳкамӣ ва деформатсияшавии полимерҳои хаттӣ ба рои матритсаи композитӣ / **С.К. Каримов** //Респ. науч. конф. «Современные проблемы физики конденсированного состояния», г. Душанбе, 2015, с. 124-125

**[13-М]. Karimov, S.K.** Deformation behavior of polymeric liquid-crystalline films in a creep mode / S.K. Karimov, A. Abdumanonov, M.Kh. Egamov // 4th International Conference on Creep and Fracture of Engineering Materials and Structures (Creep 2017) С. 170.

**[14-М]. Каримов, С.К.** Исследования механических свойств капсулированных полимером жидкокристаллические пленки / **С.К. Каримов** // Маводи конференсияи илмӣ-амалии «Рушди фанҳои табиатшиносӣ дар давраи Истиклолияти ҚТ», бахшида ба 80-солагии профессор М.М. Акрамова, 04.01.2017. ш. Бӯстон: ДКМТ, 2017 сах. 40.

[15-М]. **Каримов, С.К.** Температурные зависимости электро-физических параметров полимерно-жидкокристаллических композитов / **С.К. Каримов**, А. Абдуманнонов, Э. Ч. Шаимов // Межд. конф. 80 - лет Хакимов Ф., ТНУ. г. Душанбе, 2017- С. 222-224.

[16-М]. **Каримов, С.К.** Деформационные свойства полимерно-жидкокристаллических пленок в режиме ползучести / **С.К. Каримов**, М.Х.Эгамов, А. Абдуманнонов //Международной научной конференции посвященной 80-летию профессора Бозорова Б.Н., ТНУ. г. Душанбе, 2018 – С. 58-59

[17-М]. **Каримов, С.К.** Жидкокристаллические волноводные элементы с различной топологией модуляции границы раздела мезофаз / А.Мирсоков, **С.К. Каримов** // Республиканская научно-практическая конференции посвященная к «Году развития и туризма и народных ремесел» Роль естественно-математических наук в развитие промышленности Таджикистана. Бустон, ГМИТ, 2-июня 2018, с 105-106.

[18-М]. **Каримов, С.К.** Таъсири қатраи нематик ба характеристикаи спектралӣи спирти поливинилӣ / **С.К. Каримов**, А. Абдуманнонов // Маводҳои конф. илмӣ-амалӣ “Муаммоҳои муосири илмҳои дақиқ ва нақши он дар ташаққули ҷаҳонбинӣи илмӣи ҷомеа” Хучанд 26-27 октябри соли 2018, С. 370-371.

[19-М]. **Каримов, С.К.** Исследование влияния капли нематика на спектральные характеристики поливинилбутирала / **С.К. Каримов** // Матер. VI междун. конф. «Современные проблемы физики», посвящ. 110 летию академика С.У. Умарова и 90-летию академика Адхамова А.А. Душанбе, 28-30 июня 2018 г. –Душанбе, 2018. С.281-284.

[20-М]. **Каримов, С.К.** Особенности диэлектрических свойств композитов на основе полимера и жидкого кристалла / **Каримов С.К.** // Международный симпозиум «Перспективные материалы и технологии» г. Минск, 23-27 августа 2021 года, с. 95-96

[21-М]. **Каримов, С.К.** Особенности механических свойств композитных пленок на основе полимера и жидкого кристалла // **С.К. Каримов**, М.Х.



Эгамов, А. Абдуманонов Материалы Симпозиума физиков Таджикистана, посвященного 85-летию академика Р. Марупова. Душанбе:, 2021, с. 60-62

[22-М]. **Каримов, С.К.**, Влияние скорости нагружения на прочность композитных пленок на основе полимера и жидкого кристалла / **С.К. Каримов** // LXIV Международная конференция «Актуальные проблемы прочности» 4 - 8 апреля, 2022 года, Екатеринбург, Россия, с. 49-51

[23-М]. **Каримов, С.К.** Электрофизические свойства нематических жидких кристаллов в составе полимерной матрицы / **С.К. Каримов** // Сборник материалов Республиканской научно-практической конференции, посвященной двадцатилетию изучения и развития естественных, точных и математических наук – Душанбе: РТСУ, 2022. - С. 125-127.

[24-М]. **Каримов, С.К.** Получение микрополяризаторов на основе капсулированных полимером жидкокристаллических пленок / У.Дж. Раҳимова, **С.К. Каримов**, М.Х. Эгамов // IV Международная научно-практическая конференция «Наука и Технологии» /сост.: Р. Дуйсенбин и.т.д – г.Алматы, Казахстан, 2022 – с.130-135.

[25-М]. **Каримов, С.К.** Конформационный анализ полимерно-жидкокристаллических систем по данным ИК-спектроскопии / **С.К. Каримов**, Б.И. Махсудов // Конференсияи байналмилалӣ дар мавзӯи «Мақоми физика дар рушди илм, маориф ва инноватсия» бахшида ба «Бистсолаи омӯзиш ва рушди фанҳои табиатшиносӣ, дақиқ ва риёзӣ дар соҳаи илму маориф (солҳои 2020-2040)», ДМТ, 27.10.2022.- С. 100-102.

«Тасдиқ мекунам»

Ректори Донишкадаи кӯхию  
металлургии Тоҷикистон, профессор  
Махмадалӣ Бахтиёр Набӣ

аз « 31 » \_\_\_\_\_ » 2022 с.



### САНАДИ ТАТБИҚ

Мо, дар зер имзокунандаҳо: намояндаҳои муассисаи оли таълимии Донишкадаи кӯхию металлургии Тоҷикистон, воқеъ дар шаҳри Бӯстон, вилояти Суғд, Ҷумҳурии Тоҷикистон, санади мазкурро дар он хусус тартиб додем, ки натиҷаҳои тадқиқоти илмии рисолаи номзадии унвонҷӯи Маркази илмии Хучанди Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон Каримов Сорбон Каримович дар мавзӯи «Соҳтор ва хусусиятҳои физикию механикии пардаҳои полимери бо кристалли моеъ диспергиронидашуда» дар раванди таълими фанни физика ва химия барои ихтисоси 480101 - Технологияи химиявии моддаҳои ғайриорганикӣ, мавод ва маҳсулот татбиқ карда шудааст. Ҳамзамон, ин натиҷаҳо дар раванди иҷрои корҳои семестрӣ, иҷрои рисолаҳои бакалаврӣ ва магистрӣ дар самти ихтисоси зикргардида татбиқ ва роҳандозӣ шудааст. Дар рисолаи номзадии Каримов С.К. аз ҷумла муқаррар карда шудааст, ки:

- усули технологияи омодаسازی омехтагии пардаҳо бо структураи пешакӣ дода шуда, андоза ва шакли қатра, инчунин конфигуратсияи молекулаҳои кристалли моеи нематикӣ дар ҳаҷм ва сатҳи матритсаи полимерӣ коркард ва пешниҳод карда шудааст;
- муқаррар карда шудааст, ки бо афзуншавии компонентаи кристалли моеъ мустаҳкамии механикии матритсаи полимерӣ коҳиш ёфта, раванди вайроншавиро метезонад. Худуди хаттии пардаҳои полимери катраҳои кристалли моеъ дошта, ки таҳти шиддати механикӣ ошкор намуданд, ба савияи деформатсияшавӣ

дар ҳамин диапазон ва дар алоқамандӣ аз шароити таҷриба мувофиқат мекунад;

- нишон дода шудааст, ки бо афзуншавии кунчи байни ҳамвориҳои ҳалқаи бензолӣ, моменти диполии молекулаҳои кристалли моеи нематикӣ 7СВ кам шуда, ҳангоми гузариш ба конформатсияи перпендикулярӣ молекулаҳо афзуншавии басомади лаппиши бандҳои валентии  $C\equiv N$  ба  $5\text{ см}^{-1}$  ва камшавии интенсивнокии хати фурӯбурди инфрасурх ба андозаи 2 маротиба мушоҳида мешавад.

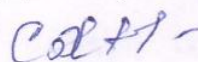
Ҳамчунин методикаи нави пешниҳод намудаи муаллиф нисбати омода соختани парда (плёнка)-ҳои тунуки композитӣ дар раванди таълими фанҳои таҳассусии кафедраи фанҳои табиӣ-илмии Донишқадаи кӯҳию металлургии Тоҷикистон (ДКМТ) муфид мебошад.

**Сардори раёсати таълими ДКМТ,  
н.и.т., дотсент**



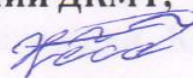
**Осими Оқил**

**Декани факултети корҳои кӯҳии ДКМТ,  
н.и.т., дотсент**



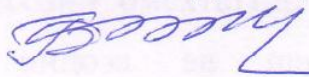
**Самадова Г.М.**

**Мудирӣ кафедраи фанҳои табиӣ-илмии ДКМТ,  
н.и.т., и.в. профессори кафедра**



**Хочиев С.Қ.**

**Дотсенти кафедраи фанҳои табиӣ-илмии ДКМТ,  
н.и.х.**



**Саидов Б.И.**



1  
«Ҳасидиқ мекунам»

Ректори МДТ Донишгоҳи Давлатии Хучанд  
ба номи академик Б. Ғафуров, профессор  
Усмоновда А.И.

аз «04» «04» 2023 с.

## Маълумотнома

оиди татбиқи натиҷаҳои илмии рисолаи номзадии  
унвонҷӯи Маркази илмии Хучанди Академияи миллии илмҳои  
Тоҷикистон Каримов Сорбон Каримович дар мавзӯи «Сохтор  
ва хусусиятҳои физикию механикии пардаҳои полимериҳои бо  
кристалли моеъ диспергиронидашуда» барои дарёфти дараҷаи  
илмии номзоди илмҳои физика ва математика аз рӯи ихтисоси  
01.04.07 – физикаи ҳолатҳои конденсӣ.

1. Натиҷаҳои илмии рисолаи номзадии Каримов С.К. дар мавзӯи  
«Сохтор ва хусусиятҳои физикию механикии пардаҳои полимериҳои бо  
кристалли моеъ диспергиронидашуда» дар раванди таълими фанни  
физика дар кафедраи физикаи умумӣ ва ҷисмҳои саҳти факултети  
физикаю техникаи Донишгоҳи давлатии Хучанд (ДДХ) ба номи академик  
Б. Ғафуров татбиқ карда шудааст. Ин натиҷаҳо ҳамчун дар омӯзиши  
фанҳои таҳассусии физикаи ҷисмҳои саҳт; фанни интиҳобии физикаи  
муҳити конденсӣ; Асосҳои илмии нанотехнология ва Оптика хеле ба  
маврид мебошанд.

2. Дар раванди омодагии комплексӣ таълимӣ-методӣ ва барномаи  
кории таълимӣ аз фанҳои таҳассусии зерин татбиқ карда шудааст:

а) «Асосҳои илмии нанотехнология» натиҷаҳои ҳисобӣ ва таҷрибавии  
воридсозии қатраҳои микроскопии кристалли моеъ ба ҳаҷм ва сатҳи  
пардаҳои тунуки полимериҳои шаффоф ва методҳои муайян кардани андоза  
ва шакли онҳо бо истифода аз усули микроскопи поляризатсионии  
оптикӣ истифода шудааст;

б) «Технологияи омодагии таҷҳизотҳои нимноқилӣ» натиҷаҳои  
таҷрибавии муайян кардани конфигуратсияи молекулаи қатраи

кристалли моеъ ба таъсири омилҳои беруна (майдонҳои механикӣ, электрикӣ, ..... ) бо мақсади омода сохтан ва такмил додани элементҳо ва таҷҳизотҳои оптоэлектронӣ ва техникаи дисплей истифода карда шудааст;

в) Физикаи ҳисмҳои саҳт – натиҷаҳои таҷрибавӣ ва назариявӣ баҳодиҳии дараҷаи ориентатсияшавӣ (самтнокшавӣ)-и молекулаи қатраи кристалли моеъ таҳти деформатсияи яксамтаи матритсаи полимерӣ бо илова кардани пластификаторҳо ва маводҳои сатҳии фаъол (сурфактант) истифода шудааст;

Аз ҷониби муаллиф пешниҳод шудани методикаи нави тадқиқи структура ва хусусиятҳои оптикӣ пардаҳои тунуки композитӣ, минбаъд барои иҷро кардани кори семестрӣ, рисолаҳои бакалаврӣ, магистрӣ ва омода сохтани кадрҳои тахассусӣ дар самти докторантураи PhD муфид ва мубрам аст.

**Муовини ректор оид ба илм ва инноватсия д.и.п., профессор**

**М.Х. Сабури**

**Декани факултети физикаю техника н.и.ф.-м., дотсент**

**Қ.А. Ҳочибоев**

**Мудир кафедраи физикаи умумӣ ва ҳисмҳои саҳт, н.и.ф.-м., дотсент**

**Н.Н. Умаров**

**Сардори раёсати кадр ва корҳои махсусии МДТ “ДДХ ба номи академик Б. Ғафуров”**



**М.Э. Наврузов**