

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ

Інститут фізики НАН України

ЗАТВЕРДЖУЮ

Директором Інституту фізики НАН
України, член-кор. НАНУ, д.ф.-м.н.

М.В. Бондар

(підпис)

» 20.05.2021 2021 р.



РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

ДВА.06

**Рідкокристалічне матеріалознавство:
синтез, властивості, застосування
для аспірантів**

спеціальності: 104 Фізика і астрономія

третього (освітньо-наукового) рівня
вищої освіти – доктор філософії

Київ - 2021

Розробник:

М. н. с. відділу фізики кристалів Інституту фізики НАНУ Н. Арясова /А.Н. Арясова/

Робочу програму узгоджено науково-методичною радою

Протокол № 4 від 30.09 2021 р.

Головою науково-методичної ради М.В. Бондар /М.В. Бондар/

Робочу програму затверджено Вченою радою Інституту фізики НАНУ

Протокол № 10 від 21.10. 2021 р.

Голова Вченої ради М.В. Бондар /М.В. Бондар/

Робочу програму погоджено з гарантом освітньо-наукової програми зі спеціальності 104 «Фізика та астрономія» 21.10. 2021 р.

Гарант освітньої програми М.В. Бондар /М.В. Бондар/

Пролонговано Вченою радою Інституту фізики НАН України:

навчальні роки пролонгації	Голова Вченої ради ІФ НАН України	підпис	№ протоколу	дата протоколу
20____/20____				
20____/20____				
20____/20____				
20____/20____				

1. Загальні відомості

Найменування показників	Характеристика дисципліни за денною формою навчання
Вид дисципліни	вибіркова
Мова викладання, навчання та оцінювання	українська
Загальний обсяг кредитів / годин	4/120
Курс	2
Семестр	2
Кількість змістових модулів з розподілом	1
Обсяг кредитів	4
Обсяг годин, В тому числі:	120
Лекції	30
Практичні заняття	15
Самостійна робота	75
Форма підсумкового контролю	екзамен

2. Мета, завдання та очікувані результати навчальної дисципліни

Робоча програма навчальної дисципліни ДВА.06 «Рідкокристалічне матеріалознавство: синтез, властивості, застосування» є нормативним документом, який розроблений на основі освітньо-наукової програми, далі ОП, (затверджена Вченою радою Інституту фізики НАН України, протоколом № від 20 року) підготовки здобувача третього рівня відповідно до навчального плану спеціальності 104 «Фізика та астрономія»

Передумова вивчення. Навчальний курс ДВА.06 «Рідкокристалічне матеріалознавство: синтез, властивості, застосування» є складовою циклу професійної підготовки фахівців третього освітньо-кваліфікаційного рівня “доктор філософії”. Програма курсу орієнтована на аспірантів, які вже знайомі з загальним курсом фізики, хімії та вищої математики

Мета навчальної дисципліни. ДВА.06 «Рідкокристалічне матеріалознавство: синтез, властивості, застосування»: вдосконалення базових знань, набутих в галузі теорії фізики конденсованого середовища; поглиблене розуміння рідких кристалів, полімерів і композитів з акцентом на зв'язок структура-властивість, а також ознайомлення з сучасними технологіями виготовлення, існуючими та перспективними застосуваннями рідкокристалічних систем

Зміст навчальної дисципліни. Теоретичні та практичні знання, набуті при вивченні дисципліни ДВА.06 «Рідкокристалічне матеріалознавство: синтез, властивості, застосування», формування систематичних знань з окремих розділів фізики рідких кристалів, які вивчають співвідношення структури та властивостей мезогенів. Ознайомлення з сучасними методами дослідження властивостей частково впорядкованих конденсованих середовищ, їх синтезу та застосування; вміння застосовувати ці методи у науковій та практичній роботі.

Предметом навчальної дисципліни ДВА.06 «Рідкокристалічне матеріалознавство: синтез, властивості, застосування» є вибрані розділи сучасної теоретичної та експериментальної фізики рідких кристалів. В класифікації рідкокристалічних матеріалів особлива увага приділена зв'язку структури та властивостей мезогенів. Розглянуті основні властивості рідких кристалів, методи їх синтезу та принципи дії сучасних рідкокристалічних пристроїв.

Основними завданнями навчальної дисципліни ДВА.06 «Рідкокристалічне матеріалознавство: синтез, властивості, застосування» є 1) Вивчення аспірантами структурної будови мезогенів, її вплив на властивості рідкокристалічних матеріалів та набуття фізичного розуміння механізмів основних електрооптичних ефектів, що застосовуються в рідкокристалічних пристроях..

2) Набути здатність застосовувати ці знання у практичних ситуаціях для розуміння властивостей рідкокристалічних систем.

3) Підвищити здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями в галузі рідкокристалічних матеріалів, здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел, в тому числі,

електронних ресурсів, та здатність студентів до абстрактного мислення, аналізу та синтезу матеріалу з всіх фізичних дисциплін.

4) Формування фізичного мислення у аспірантів в межах матеріалу, що вивчається. Дисципліна готує аспірантів до сприймання матеріалу спецкурсів, передбачених програмою спеціалізації.

Фахові програмні результати навчання (вимоги до знань та вмінь)

В результаті вивчення навчальної дисципліни аспірант повинен

Знати: основні властивості рідких кристалів, методи їх синтезу та принципи дії рідкокристалічних пристроїв.

Вміти: застосувати набуті знання в науково-дослідних та навчальних установах. Зокрема:

1) вміти проводити класифікацію рідкокристалічних матеріалів; описувати ліотропні та термотропні рідкі кристали; на основі структури молекули передбачити, чи буде вона проявляти рідкокристалічну поведінку, а також прогнозувати властивості матеріалу;

2) знаходити рівноважну орієнтацію директора рідкого кристалу в різних геометріях під дією зовнішніх полів.

Завданням навчальної дисципліни (відповідно до переліку ОП) ДВА.06 «Рідкокристалічне матеріалознавство: синтез, властивості, застосування»:

Загальні: ЗК1, ЗК2, ЗК3, ЗК4, ЗК5, ЗК6, ЗК7, ЗК8.

Фахові: ФК1, ФК2, ФК3, ФК4

Програмні результати навчання ПРН2, ПРН3, ПРН4, ПРН5, ПРН6, ПРН7, ПРН8, ПРН9, ПРН10, ПРН11, ПРН12, ПРН13, ПРН14.

3. Тематичний план

(структура залікового кредиту)

з навчальної дисципліни ДВА.06 «Рідкокристалічне матеріалознавство: синтез, властивості, застосування»
(2 курс – 2 семестр)

№	Зміст	Лекції, год.	Практичні заняття, год.	Самостійна робота, год.	Разом, год.
1.	Тема 1. Рідкокристалічний стан. Вплив хімічної структури на мезоморфні властивості. Термостабільність фази. Температура плавлення. Вплив бокових замісників на температуру плавлення і термостабільність. Вплив природи структурних фрагментів на мезоморфізм.	3	0	7	10
2.	Тема 2. Синтез рідкокристалічних матеріалів. Методи синтезу (ціанобіфеніли, циклогексани, біциклооктани, сполуки з метановим фрагментом, сполуки, що містять ненасичені вуглецеві радикали, діоксани, толани, піридини, піримідини та інші). Дихроїчні барвники. Технологічні аспекти виробництва РК матеріалів. Практична робота <i>Комп'ютерне моделювання мезогенів</i>	3	3	7	13
3.	Тема 3. Фазові переходи мезогенів. Методи вимірювання температур фазових переходів. Евтектичні суміші. Розрахунок складу і температур фазових переходів евтектики і фазові діаграми бінарних сумішей. Багатокомпонентні системи. Температури просвітлення для гомологічних рядів і бінарних сумішей. Практична робота <i>Розрахунок складу і температур фазових переходів ідеальної евтектичної суміші рідких кристалів</i>	3	0	8	11
4.	Тема 4. Діелектричні властивості і електропровідність. Діелектрична проникність. Рідкі кристали з малою діелектричною анізотропією. Рідкі кристали з великою діелектричною анізотропією: додатньою, від'ємною. Діелектрична релаксація. Електропровідність. Оптичні характеристики.	3	0	7	10

5.	Тема 5. Пружні властивості. Методи визначення констант пружності. Теоретичні уявлення про константи пружності в нематичних рідких кристалах. Модель Озеєна –Франка. Експериментальні дані: слабополярні речовини; суміші сильно- і слабополярних сполук. В'язкість. Коефіцієнти в'язкості нематичних рідких кристалів. Методи їх визначення. Обертальна в'язкість. Об'ємна в'язкість.	3	3	7	13
6.	Тема 6. Загальні фізичні принципи електрооптичних ефектів. Орієнтаційні ефекти. S- і В-ефекти. Ефект фазового переходу холестериках-нематик. Ефект guest-host. Твіст ефект. Електрооптичні характеристики. Зв'язок між електрооптичними характеристиками твіст-ефекту і фізико-хімічними параметрами РКМ. Супер-твіст ефекти. Пристрої з активною матрицею. Двохчастотна адресація для твіст-ефекту. Динамічне розсіяння світла. Термооптичний ефект. Ефекти в сегнетоелектричних рідких кристалах.	3	3	8	14
7.	Тема 7. Орієнтація рідких кристалів. Сучасні методи орієнтації рідких кристалів. Матеріали, що використовуються для орієнтації рідких кристалів. Характеристика рідкокристалічної орієнтації: кут контакту, кут переднахилу, азимутальна та полярна енергія зчеплення, морфологія поверхні. Практична робота Методи орієнтації рідких кристалів	3	3	8	14
8.	Тема 8. Застосування рідких кристалів. Основні типи рідкокристалічних дисплеїв: TN-, IPS- та VA-матриці. Принципи дії різних типів матриць, їх переваги та обмеження. Рідкокристалічні матеріали для електрооптичних ефектів. Практична робота Твіст-ефект в нематичній планарній комірі	3	0	8	11
9.	Тема 9. Рідкокристалічні олігомери і полімери. Фізичні, морфологічні та механічні властивості полімерів. Можливість реалізації РК стану в полімерних системах. Ліотропні РК системи жорстко-ланцюгових полімерів. Термотропні РК системи з мезогенними групами в основному ланцюзі. Блок-сополімери з	3	3	8	14

	мезоморфними властивостями. РК полімери з мезогенними групами в бокових ланцюгах. Мезоморфізм інших полімерних систем. Рідкокристалічні еластомери. Практична робота <i>'Розумні' полімери</i>				
10.	Тема 10. Тонкі полімерні плівки. Дихроїчні та тонкоплівкові поляризатори: матеріали, обробка та властивості. Плівки із широким кутом огляду: основи оптичної компенсації, оптика компенсаційних плівок та дисплеїв, що їх містять. Паперовоподібні дисплеї: гнучкі підкладки, пристрої відображення та принцип дії.	3	0	7	10
Всього		30	15	75	120

Методичне забезпечення навчальної дисципліни забезпечують:

опорні конспекти лекцій, бібліотечні посібники зі списку рекомендованої літератури, електронні посібники, мультимедійні презентації, діючі нормативно-правові законодавчі акти України, довідково-інформаційні інтернет-джерела тощо.

4. ЗМІСТ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

ДВА.06 «Рідкокристалічне матеріалознавство: синтез, властивості, застосування»

1. **Тема 1.** Рідкокристалічний стан. Вплив хімічної структури на мезоморфні властивості. Термостабільність фази. Температура плавлення. Вплив бокових замісників на температуру плавлення і термостабільність. Вплив природи структурних фрагментів на мезоморфізм.

Література: 1 – 3, 9

Завдання для самостійної роботи (7 год.)

1. Вивчення матеріалу лекції.

2. Опрацювання матеріалу, що винесений на самостійне вивчення:

Нематичні, холестеричні, смектичні та блакитні фази рідкого кристалу. Директор, параметр порядку.

2. **Тема 2.** Синтез рідкокристалічних матеріалів. Методи синтезу (ціанобіфеніли, циклогексани, біциклооктани, сполуки з метановим фрагментом, сполуки, що містять ненасичені вуглецеві радикали, толани, діоксани, піридини, піримідини та інші). Дихроїчні барвники. Технологічні аспекти виробництва РК матеріалів.

Практична робота Комп'ютерне моделювання мезогенів

Література: 2, 3, 6, 10

Завдання для самостійної роботи (7 год.)

1. Вивчення матеріалу лекції та **практичного заняття** «Комп'ютерне моделювання мезогенів».

2. Опрацювання матеріалу, що винесений для самостійного розв'язку після практичного заняття: Смоделювати та проаналізувати структуру найбільш поширених мезогенів.

3. **Тема 3.** Фазові переходи мезогенів. Методи вимірювання температур фазових переходів. Евтектичні суміші. Розрахунок складу і температур фазових переходів евтектики і фазові діаграми бінарних сумішей. Багатокомпонентні системи. Температури просвітлення для гомологічних рядів і бінарних сумішей.

Практична робота Розрахунок складу і температур фазових переходів ідеальної евтектичної суміші рідких кристалів

Література: 1 – 3, 9

Завдання для самостійної роботи (8 год.)

1. Вивчення матеріалу лекції та **практичного заняття** «Розрахунок складу і температур фазових переходів ідеальної евтектичної суміші рідких кристалів».

2. Опрацювання матеріалу, що винесений на самостійне вивчення:

Теорія Ландау. Розклад Ландау-де Жена. Розрахувати склад і температуру фазових переходів ідеальної евтектичної суміші рідких кристалів

4. **Тема 4.** Діелектричні властивості і електропровідність. Діелектрична проникність. Рідкі кристали з малою діелектричною анізотропією. Рідкі кристали з великою діелектричною анізотропією: додатньою, від'ємною. Діелектрична релаксація. Електропровідність. Оптичні характеристики.

Література: 1, 4, 9

Завдання для самостійної роботи (7 год.)

1. Вивчення матеріалу лекції.

2. Опрацювання матеріалу, що винесений на самостійне вивчення:

Розглянути проходження монохромного світла крізь планарну твіст-комірку у випадку нормального падіння світла.

5. **Тема 5.** Пружні властивості. Методи визначення констант пружності. Теоретичні уявлення про константи пружності в нематичних рідких кристалах. Модель Озеєна –Франка. Експериментальні дані: слабополярні речовини; суміші сильно- і слабополярних сполук. В'язкість. Коефіцієнти в'язкості нематичних рідких кристалів. Методи їх визначення. Обертальна в'язкість. Об'ємна в'язкість.

Література: 1, 7, 9

Завдання для самостійної роботи (7 год.)

1. Вивчення матеріалу лекції.

2. Опрацювання матеріалу, що винесений на самостійне вивчення:

В рамках моделі Озеєна-Франка навести розрахунок рівноважної орієнтації директора в планарній комірці для нематичного та холестеричного рідкого кристалу.

6. **Тема 6.** Загальні фізичні принципи електрооптичних ефектів. Орієнтаційні ефекти. S- і В-ефекти. Ефект фазового переходу холестерик-нематик. Ефект guest-host. Твіст ефект. Електрооптичні характеристики. Зв'язок між електрооптичними характеристиками твіст-ефекту і фізико-хімічними параметрами РКМ. Супер-твіст ефекти. Пристрої з активною матрицею. Двохчастотна адресація для твіст-ефекту. Динамічне розсіяння світла. Термооптичний ефект. Ефекти в сегнетоелектричних рідких кристалах.

Література: 1, 2, 4, 7

Завдання для самостійної роботи (8 год.)

1. Вивчення матеріалу лекції.

2. Опрацювання матеріалу, що винесений на самостійне вивчення:

Систематизувати характеристики рідких кристалів з точки зору придатності їх застосування в пристроях, які експлуатують різні електрооптичні ефекти.

7. **Тема 7.** Орієнтація рідких кристалів. Сучасні методи орієнтації рідких кристалів. Матеріали, що використовуються для орієнтації рідких кристалів. Характеристика рідкокристалічної орієнтації: кут контакту, кут переднахилу, азимутальна та полярна енергія зчеплення, морфологія поверхні.

Практична робота Методи орієнтації рідких кристалів

Література: 1, 7, 8, 9

Завдання для самостійної роботи (8 год.)

1. Вивчення матеріалу лекції та **практичного заняття** на тему «Методи орієнтації рідких кристалів».

2. Опрацювання матеріалу, що винесений на самостійне вивчення після практичного заняття:

Модель Берремана. Охарактеризувати орієнтовану полімерну поверхню, отриману під час практичного заняття.

8. Тема 8. Застосування рідких кристалів. Основні типи рідкокристалічних дисплеїв: TN-, IPS- та VA-матриці. Принципи дії різних типів матриць, їх переваги та обмеження. Рідкокристалічні матеріали для електрооптичних ефектів.

Практична робота Твіст-ефект в нематичній планарній комірці

Література: 1, 2, 4, 7

Завдання для самостійної роботи (8 год.)

1. Вивчення матеріалу лекції та **практичного заняття** «Твіст-ефект в нематичній планарній комірці» .

2. Опрацювання матеріалу, що винесений на самостійне вивчення:

Дослідити поведінку нематичного рідкого кристалу в планарній комірці під дією прикладеного електричного поля.

9. Тема 9. Рідкокристалічні олігомери і полімери. Фізичні, морфологічні та механічні властивості полімерів. Можливість реалізації РК стану в полімерних системах. Ліотропні РК системи жорстко-ланцюгових полімерів. Термотропні РК системи з мезогенними групами в основному ланцюзі. Блок-сополімери з мезоморфними властивостями. РК полімери з мезогенними групами в бокових ланцюгах. Мезоморфізм інших полімерних систем. Рідкокристалічні еластомери.

Практична робота «Розумні» полімери

Література: 2, 5, відкриті джерела

Завдання для самостійної роботи (8 год.)

1. Вивчення матеріалу лекції та **практичного заняття** на тему «Розумні полімери».

2. Опрацювання матеріалу, що винесений на самостійне вивчення після лекції та практичного заняття:

Зробити огляд літератури про сучасні та перспективні застосування рідкокристалічних полімерів та еластомерів. Підготувати презентацію.

10. Тема 10. Тонкі полімерні плівки. Дихроїчні та тонкоплівкові поляризатори: матеріали, обробка та властивості. Плівки із широким кутом огляду: основи оптичної компенсації, оптика компенсаційних плівок та дисплеїв, що їх містять. Паперовоподібні дисплеї: принцип дії, гнучкі підкладки та пристрої відображення.

Література: 6, 11, 12, відкриті джерела

Завдання для самостійної роботи (7 год.)

1. Вивчення матеріалу лекції.

2. Опрацювання матеріалу, що винесений на самостійне вивчення:

Зробити огляд технологій паперовоподібних дисплеїв, з акцентом на стан та майбутній розвиток принципів електрофоретичного відображення та електрофлюїдних дисплеїв.

5. Практичні заняття

з навчальної дисципліни ДВА.06 «Рідкокристалічне матеріалознавство: синтез, властивості, застосування»

Практичне закріплення лекційного матеріалу та наукові доповіді аспіранта пов'язані з темами лекцій і є частиною змісту дисципліни.

6. Самостійна робота

з навчальної дисципліни ДВА.06 «Рідкокристалічне матеріалознавство: синтез, властивості, застосування»

№	Зміст самостійної роботи аспірантів	Обсяг, годин
1.	Вивчення матеріалу лекції	30
2.	Опрацювання матеріалу, що винесений на самостійне вивчення	45
Усього за навчальну дисципліну		75

7. Методи викладання

з навчальної дисципліни ДВА.06 «Рідкокристалічне матеріалознавство: синтез, властивості, застосування»

У процесі викладання дисципліни використовуються такі методи:

- 1) методи організації та здійснення навчально-пізнавальної діяльності (бесіда, лекція; ілюстрація; лабораторні роботи, реферати; самостійна робота студентів);
- 2) методи стимулювання й мотивації навчально-пізнавальної діяльності (навчальні дискусії, модульно-рейтингова система знань);
- 3) методи контролю (самоконтролю, взаємоконтролю), корекції (самокорекції, взаємокорекції) за ефективністю навчально-пізнавальної діяльності.

8. Рейтингова система оцінювання

з навчальної дисципліни ДВА.06 «Рідкокристалічне матеріалознавство: синтез, властивості, застосування»

Основними формами організації контролю у процесі вивчення студентами даної дисципліни є індивідуальна, групова та фронтальна перевірка знань, вмінь та навичок студентів (усна та письмова). Рейтинг аспіранта складається з наступних отриманих балів:

1. Експрес-контроль – 20 балів. (усне опитування чи самостійні роботи під час навчального процесу)
2. Практичні заняття та самостійна робота – 40 балів.
3. Екзамен – 40 балів.

Заохочувальні та штрафні бали

1. При відсутності на лекції/практичному занятті без поважних причин -2 бали
2. Подана в журнал стаття чи виступ на конференції за темою курсу +10 балів.

Сума як штрафних так і заохочуваних балів розраховується за формулою $0,1R$, де R – загальна кількість балів, і не має перевищувати в цілому 10 балів.

Шкала рейтингів.

Загальна кількість балів, яку аспіранта може отримати під час вивчення курсу складається із суми вагових балів отриманих протягом вивчення дисципліни

$$R=20+40+40=100 \text{ (балів)}$$

Шкала відповідності оцінок

Рейтингова оцінка	Значення оцінки	Рейтинг у відсотках, %
A	Відмінно – відмінний рівень знань (умінь) в межах обов'язкового матеріалу з, можливими незнасними недоліками.	90-100
B	Дуже добре – достатньо високий рівень знань (умінь) в межах обов'язкового матеріалу без суттєвих (грубих) помилок.	82-89
C	Добре – добрий рівень знань (умінь) в межах обов'язкового матеріалу з незначною кількістю помилок.	75-81
D	Задовільно – посередній рівень знань (умінь) в межах обов'язкового матеріалу із значною кількістю недоліків, достатній для подальшого навчання або ж професійної діяльності.	69-74
E	Достатньо - мінімально можливий допустимий рівень знань (умінь) в межах обов'язкового матеріалу.	60-100
FX	Незадовільно з можливістю повторного складання – незадовільний рівень знань (умінь) в межах обов'язкового матеріалу з можливістю повторного перескладання після самостійного доопрацювання.	35-59
F	Незадовільно з з обов'язковим повторним вивченням курсу – низький рівень знань (умінь) в межах обов'язкового матеріалу, що вимагає повторного вивчення матеріалів курсу.	1-34

9. Орієнтовний перелік екзаменаційних питань до курсу

з навчальної дисципліни ДВА.06 «Рідкокристалічне матеріалознавство: синтез, властивості, застосування»

1. Рідкокристалічні фази: типи, особливості. Директор, параметр порядку.
2. Вплив хімічної структури на мезоморфні властивості
3. Методи синтезу рідкокристалічних матеріалів.
4. Дихроїчні барвники.
5. Теорія Ландау-де Жена. Методи вимірювання температур фазових переходів.
6. Склад і температура фазових переходів евтектики, фазові діаграми бінарних сумішей.
7. Діелектричні властивості. Рідкі кристали з малою діелектричною анізотропією.
8. Діелектричні властивості. Рідкі кристали з великою діелектричною анізотропією.
9. Пружні властивості. Методи визначення констант пружності. Модель Озеєна–Франка.
10. Коефіцієнти в'язкості нематичних рідких кристалів. Методи їх визначення.
11. Загальні фізичні принципи електрооптичних ефектів.
12. Пристрої з активною матрицею. Динамічне розсіяння світла.
13. Сучасні методи орієнтації рідких кристалів.
14. Характеризація орієнтації рідкого кристалу.
15. Основні типи рідкокристалічних дисплеїв: принципи дії різних типів матриць.
16. Рідкокристалічні матеріали для електрооптичних ефектів
17. Рідкокристалічні олігомери і полімери.
18. Рідкокристалічні еластомери.
19. Тонкі полімерні плівки. Дихроїчні та тонкоплівкові поляризатори.
20. Принцип дії паперовоподібних дисплеїв.

10. РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА:

з навчальної дисципліни ДВА.06 «Рідкокристалічне матеріалознавство: синтез, властивості, застосування»

1. П. де Жен, Физика жидких кристаллов, М.: Мир, 1977 – 400 с.
2. М.Ф. Гребенкин, А.В. Иващенко, Жидкокристаллические материалы, М.: Химия, 1989 – 288 с.
3. Ю. Б. Америк, Б. А. Кренцель, Химия жидких кристаллов и мезоморфных полимерных систем, М. : Наука, 1981 – 288 с.
4. L.M. Blinov and V.G. Chigrinov, Electro-optic Effects in Liquid Crystal Materials, Springer-Verlag, Ch.1-2, 1994.
5. П. де Жен Идеи скейлинга в физике полимеров, М.: Мир, 1982 – 376 с.
6. А. В. Иващенко. Дихроичные азокрасители для жидкокристаллических дисплеев, М.: НИИ ТЭХИМ, 1983.
7. М. Клеман, О. Д. Лаврентович лаврентович, Основы физики частично упорядоченных сред, М: Физматлит, 2007 – 679 с.
8. Liquid crystal in complex geometries. Edited by G. P. Crawford and S. Zumer , Taylor & Francis, London 1996
9. Л.М. Блинов, Жидкие кристаллы: Структура и свойства, М.: Либроком, 2013 – 480 с.
10. <https://chemdrawdirect.perkinelmer.cloud/js/sample/index.html#>
11. Review of Paper-Like Display Technologies, PIER, **147**, 95-116 (2014)
<http://www.jpier.org/PIER/pier147/07.13120405.pdf>
12. A flexible optically re-writable color liquid crystal display Appl. Phys. Lett. **112**, 131902 (2018);
<https://doi.org/10.1063/1.5021619>