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)
« 27 » жовтня 2023 р.

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

ПОК.01
Основи фізики рідких кристалів

для аспірантів

спеціальності: 104 Фізика і астрономія

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

Київ - 2023

Розробник:

Завідувач відділу фізики кристалів Інституту фізики НАНУ,

доктор фіз.-мат. наук., проф. _____/В.Г. Назаренко/

Робочу програму узгоджено науково-методичною радою

Протокол № 10-1 від 24 жовтня 2023 р.

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

Робочу програму затверджено Вченою радою Інституті фізики НАНУ

Протокол № 10 від 26 жовтня 2023 р.

Голова Вченої ради _____/М.В. Бондар/

Робочу програму погоджено з гарантом освітньо-наукової програми зі спеціальності 104 «Фізика та астрономія» 27 жовтня 2023р.

Гарант освітньої програми _____/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

Найменнування 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	**1**
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 контрою	**екзамен**

2. Мета, завдання та очікувані результати навчальної дисципліни

Робоча програма навчальної дисципліни ПОК.01 «Основи фізики рідких кристалів» є нормативним документом, який розроблений на основі освітньо-наукової програми, далі ОП, (затверджена Вченою радою Інституту фізики НАН України, протоколом № 10 від 26 жовтня 2023 року) підготовки здобувача третього рівня відповідно до навчального плану спеціальності 104 «Фізика та астрономія»

Передмова вивчення. Навчальний курс ПОК.01 «Основи фізики рідких кристалів» є складовою циклу обов'язкової підготовки фахівців третього освітньо-кваліфікаційного рівня "доктор філософії". Програма курсу орієнтована на аспірантів, які вже знайомі з загальним курсом фізики твердого тіла, молекулярної фізики, термодинаміки та математичною фізикою.

Мета навчальної дисципліни. ПОК.01 «Основи фізики рідких кристалів»: поглиблене розуміння сучасної фізики м'якої матерії та рідких кристалів; ознайомлення з методологію основних експериментальних методів дослідження структури і властивостей рідкокристалічних середовищ. Оволодіння базовими знаннями про створення і функціонування високотехнологічних пристроїв на основі рідких кристалів.

Зміст навчальної дисципліни. Теоретичні та практичні знання, набуті при вивченні дисципліни ПОК.01 «Основи фізики рідких кристалів», є поглиблене вивчення теоретичної та експериментальної основ фізики рідких кристалів та м'якої матерії; навчитись отримувати, обробляти та інтерпретувати експериментальні дані про властивості рідких кристалів в залежності від граничних умов, різних зовнішніх чинників та структури середовища; проводити теоретичні і експериментальні дослідження з метою створення нових рідкокристалічних систем та оптимізації їх параметрів; формулювати основні висновки і нові пропозиції щодо застосування отриманих результатів на практиці..

Предметом навчальної дисципліни ПОК.01 «Основи фізики рідких кристалів» є базові розділи теоретичної та експериментальної фізики рідких кристалів: класифікація рідкокристалічних матеріалів за розмірністю, фазовим станом і структурою; основні фізичні характеристики рідких кристалів і систем на їх основі; суть розмірних ефектів, пов'язаних з обмеженістю середовища; основи поверхневих явищ та методи орієнтації рідких кристалів; поняття про топологічні дефекти в рідких кристалах та їх класифікацію; основні види і характер поведінки колоїдних частинок в рідкому кристалів; суть та методологія основних експериментальних методів дослідження структури і властивостей рідкокристалічних середовищ; приклади застосування рідких кристалів в сучасній електроніці та інших галузях.

Основними завданнями навчальної дисципліни ПОК.01 «Основи фізики рідких кристалів» є поглиблене вивчення аспірантами фізики рідких кристалів та отримання відповідних знань на практиці використовувати наявну наукову та технічну інформацію про особливості

формування рідкокристалічних структур та вплив різних факторів на їх властивості; уміння самостійно проводити експериментальні дослідження з метою отримання рідкокристалічних систем та дисперсних матеріалів на їх основі, що мають наперед заданий набір фізичних, морфологічних та структурних властивостей.

1) Освоєння аспірантами основних фізичних особливостей рідкокристалічного стану м'якої матерії, класифікація структурної будови та анізотропія пружних властивостей, отримання знань про оптичні та електро-оптичні властивості рідких кристалів та набуття фізичного розуміння механізмів та методів створення рідкокристалічних систем відображення інформації.

2) Отримати навики самостійного вивчення спеціальної наукової літератури, пов'язаної з проблемами рідкокристалічного стану; вміння планувати і проводити теоретичні та експериментальні дослідження в рамках предмету курсу.

3) Покращення здатності аспірантів до самостійної експериментальної роботи, пов'язаної з фізичною діагностикою рідкокристалічних середовищ; на практиці використовувати наявну наукову та технічну інформацію про особливості формування рідкокристалічних структур та вплив різних факторів на їх властивості.

4) Підвищення можливості аспірантів формулювати основні висновки і нові пропозиції щодо застосування отриманих результатів на практиці.

Фахові програмні результати навчання (вимоги до знань та вмінь)

В результаті вивчення навчальної дисципліни аспірант повинен

Знати: основні властивості структурної будови рідких кристалів, класифікацію рідкокристалічних матеріалів за розмірністю, фазовим станом і структурою; основні фізичні характеристики рідких кристалів і систем на їх основі; області практичних застосувань рідких кристалів.

Вміти: застосовувати отримані знання в області фізики рідких кристалів; отримувати, обробляти та інтерпретувати експериментальні дані про властивості рідких кристалів в залежності від граничних умов, різних зовнішніх чинників та структури середовища; проводити теоретичні і експериментальні дослідження з метою створення нових рідкокристалічних систем та оптимізації їх параметрів.

Завданням навчальної дисципліни (відповідно до переліку ОП) ПОК.01 «Основи фізики рідких кристалів» набути компетентносте:

Загальні: ЗК1,ЗК2, ЗК3.

Спеціальні: СК1, СК2, СК5, СК6

Програмні результати навчання: РН1, РН4, РН5, РН6, РН7, РН8, РН9.

3. Тематичний план

(структура залікового кредиту)
з навчальної дисципліни ПОК.01 «Основи фізики рідких кристалів»
(1 курс – 2 семестр)

№	Зміст	Лекції, год.	Практичні, год.	Самостійна робота, год.	Разом, год.
1.	**Тема 1.** Вступ. Історія відкриття та еволюція уявлень про рідкокритсалічний стан матерії. Особливості структурної будови. Загальна класифікація: термотропні, ліотропні та хромонічні РК. Фазові діаграми.	3	0	7	10
2.	**Тема 2.** Термодинамічні потенціали. Вільна енергія. Ентропія твердих стрижнів. Теорія Онзагера рідкокристалічного стану. Поняття директора. Параметр порядку РК.	3	3	7	13
3.	**Тема 3.** Мікроскопічна теорія Маєра-Заупе. Класифікація фаз в РК: нематики, холестерики, смектики, колумнарні фази. Фазові переходи.	3	0	8	11
4.	**Тема 4.** Пружні властивості РК. Константи пружності. Типи деформацій. Пружність смектичних РК. Пружність полімерних РК.	3	0	7	10
5.	**Тема 5.** Обмежені РК. Орієнтація РК. Потенціал Рапіні. Енергія зчеплення. Типи та методи орієнтації. Модель Беременна.	3	3	7	13
6.	**Тема 6.** Оптичні властивості. Анізотропія показника заломлення. Проходження світла через РК. Режим Могена. Селективне відбиття світла в холестеричних РК.	3	3	8	14
7.	**Тема 7.** Магнітні властивості РК. Перехід Фредерікса. Довжина магнітної когерентності.	3	3	8	14
8.	**Тема 8.** Електричні властивості РК Перхід Фредерікса. Діелектричний момент. Флексоелектрика. Ферроелектрика. Хіральний SmC*. Провідність РК. Домени Вільямса.	3	0	8	11
9.	**Тема 9.** Дефекти в РК. Поняття топологічного простору. Топологічні	3	3	8	14

	заряди. Класифікація дефектів в РК. Дефекти в нематичному, смектичному та холестеричному РК. Рідкокристалічні колоїди.				
10.	**Тема 10.** Застосування РК. Рідкокристалічні дисплеї та їх класифікація. В'язкість і часи релаксації директора. Евтектичні суміші ТК. Методи керування РК дисплеями. Активна матриця. 3D РК Дисплеї.	3	0	7	10
Всього		**30**	**15**	**75**	**120**

Методичне забезпечення навчальної дисципліни:
презентації лектора, конспекти лекцій, бібліотечні та електронні джерела зі списку рекомендованої літератури, довідково-інформаційні інтернет-джерела тощо.

4. Зміст навчальної дисципліни

ПОК.01 **«Основи фізики рідких кристалів»**

1. **Тема 1.** Вступ. Історія відкриття та еволюція уявлень про рідкокритсалічний стан матерії. Особливості структурної будови. Загальна класифікація: термотропні, ліотропні та хромонічні РК. Фазові діаграми.
Література: 1, 2, 5, 6, 17, 19.
Завдання для самостійної роботи (7 год.)
1. Вивчення матеріалу лекції.
2. Опрацювання матеріалу, що винесений на самостійне вивчення:
Історія рідких кристалів в Україні. Амфотропні рідкі кристали. Рідкі кристали в природі.

2. **Тема 2.** Термодинамічні потенціали. Вільна енергія. Ентропія твердих стрижнів. Теорія Онзагера рідкокристалічного стану. Поняття директора. Параметр порядку РК.
Література: 2, 6, 7, 21.
Завдання для самостійної роботи (7 год.)
1. Вивчення матеріалу лекції.
2. Опрацювання матеріалу, що винесений для самостійного розв'язку після практичного заняття:
i. Орієнтаційна функція розподілу (ОФР) у разі одновісного порядку. Розклад ОФР у ряд многочленів Легенда.
ii. ODF і параметр скалярного порядку магніту (полярний порядок). Показати, що середня намагніченість по осі симетрії пов'язана з параметром скалярного порядку.

3. **Тема 3.** Мікроскопічна теорія Маєра-Заупе. Класифікація фаз в РК: нематики, холестерики, смектики, колумнарні фази. Фазові переходи.
Література: 2, 4, 6, 22.
Завдання для самостійної роботи (8 год.)
1. Вивчення матеріалу лекції.
2. Опрацювання матеріалу, що винесений на самостійне вивчення:
i. Теорія фазових переходів Ландау.
ii. Фазовий перехід Смектик – Нематик.

4. **Тема 4.** Пружні властивості РК. Константи пружності. Типи деформацій. Пружність смектичних РК. Пружність полімерних РК.
Література: 2, 3, 6, 7, 23.
Завдання для самостійної роботи (7 год.)
1. Вивчення матеріалу лекції.

2. Опрацювання матеріалу, що винесений на самостійне вивчення:
і. Константа кручення в холестерику.

5. **Тема 5.** Обмежені РК. Орієнтація РК. Потенціал Рапіні. Енергія зчеплення. Типи та методи орієнтації. Модель Беременна.
Література: 2, 6, 12, 24, 25.
Завдання для самостійної роботи (7 год.)
1. Вивчення матеріалу лекції.
2. Опрацювання матеріалу, що винесений на самостійне вивчення:
і. Орієнтація світлом.

6. **Тема 6.** Оптичні властивості. Анізотропія показника заломлення. Проходження світла через РК. Режим Могена. Селективне відбиття світла в холестеричних РК.
Література: 2, 6, 11, 15.
Завдання для самостійної роботи (8 год.)
1. Вивчення матеріалу лекції.
2. Опрацювання матеріалу, що винесений на самостійне вивчення:
і. Проходження світла через голубу фазу РК

7. **Тема 7.** Магнітні властивості РК. Перехід Фредерікса. Довжина магнітної когерентності.
Література: 2, 6, 26, 27.
Завдання для самостійної роботи (8 год.)
1. Вивчення матеріалу лекції.
2. Опрацювання матеріалу, що винесений на самостійне вивчення:
і. Вимірювання магнітної сприйнятливості.
іі. Температурна поведінка порогу Фредерікса.

8. **Тема 8.** Електричні властивості РК Перхід Фредерікса. Діелектричний момент. Флексоелектрика. Ферроелектрика. Хіральний SmC*. Провідність РК. Домени Вільямса..
Література: 2, 6, 13, 14, 28.
Завдання для самостійної роботи (8 год.)
1. Вивчення матеріалу лекції.
2. Опрацювання матеріалу, що винесений на самостійне вивчення:
і. П'єзоелектричні ефекти в рідких кристалах з низькою молекулярною масою SmC *.
іі. П'єзоелектричні ефекти у ліотропних рідких кристалах та в клітинних мембранах.

9. **Тема 9.** Дефекти в РК. Поняття топологічного простору. Топологічні заряди. Класифікація дефектів в РК. Дефекти в нематичному, смектичному та холестеричному РК. Рідкокристалічні колоїди..
Література: 2, 6, 9, 10, 29, 30.
Завдання для самостійної роботи (8 год.)
1. Вивчення матеріалу лекції.
2. Опрацювання матеріалу, що винесений на самостійне вивчення:
і. Розрахунок енергії дефектів в рідкому кристалі: доменна стінка, буджум, їжак.
іі. Дефекти в космології та в нематичних рідких кристалах.

10. **Тема 10.** Застосування РК. Рідкокристалічні дисплеї та їх класифікація. В’язкість і часи релаксації директора. Евтектичні суміші ТК. Методи керування РК дисплеями. Активна матриця. 3D РК Дисплеї.
Література: 15, 16.
Завдання для самостійної роботи (7 год.)
1. Вивчення матеріалу лекції.
2. Опрацювання матеріалу, що винесений на самостійне вивчення:
і. Аналіз рідкокристалічних дисплеїв, VA mode (Samsung) vs IPS mode (Apple).
іі. Рідкокристалічні дисплеї для віртуальної реальності.

5. Практичні заняття

з навчальної дисципліни ПОК.01 «Основи фізики рідких кристалів»

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

6. Самостійна робота

з навчальної дисципліни ПОК.01 «Основи фізики рідких кристалів»

№	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 ПОК.01 «Основи фізики рідких кристалів»

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 ПОК.01 «Основи фізики рідких кристалів»

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 відповідності оцінок

Рейтингова оцінка	Значення оцінки	Рейтинг у відсотках, %
A	**Відмінно** – відмінний рівень знань (умінь) в межах обов'язкового матеріалу з, можливими незначними 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 кількість помилок.	75-81
D	**Задовільно –** посередні 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.	60-68
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

з навчальної дисципліни ПОК.01 «Основи фізики рідких кристалів»

1. Опишіть загальні структурні особливості молекул, що утворюють рідкі кристали. Який вид міжмолекулярних взаємодій найімовірніше виявляє рідкокристалічну поведінку? Чи впливає електричне поле на ці взаємодії?
2. У чому різниця між ізотропною рідиною та анізотропною рідиною? Що є більш анізотропним - холестеричний рідкий кристал чи нематичний рідкий кристал?
3. Опишіть структури, симетрії та порядок рідкокристалічних фаз.
4.а) Чи є на макроскопічному рівні різниця у фізичних властивостях твердих речовин і рідини?
б) Чи є на макроскопічному рівні різниця у фізичних властивостях рідин і рідких кристалів?
в) Чи є на макроскопічному рівні різниця у фізичних властивостях твердих речовин і рідких кристалів?
5. а) Чи існує на субмікроскопічному рівні різниця у поведінці рідин та рідких кристалів?
б) Чи існує на субмікроскопічному рівні різниця у поведінці твердих тіл та рідких кристалів?
6. Що, на вашу думку, розуміється під терміном позиційне впорядкування? Що, на вашу думку, розуміється під терміном орієнтаційне впорядкування?
7. Рідкі кристали можуть бути термотропними або ліотропними. У чому різниця між цими двома типами рідких кристалів?
8. Як проходить світло через шар холестерика? Умова Могена.
9. Рідкий кристал в електричному полі. Порярні ефекти в рідких кристалах.
10. Як працює рідкокристалічний дисплей?

Задачі.
1. Знайти інтенсивність світла, яке пройшло через систему із двох паралельних поляризаторів, між якими розташований шар нематичного рідкого кристалу. Орієнтація директора в площині шару.
2. Розрахувати компоненти тензора діелектричної проникності для хірального нематичного

10.Рекомендована література:

з навчальної дисципліни ПОК.01 «Основи фізики рідких кристалів»

Основна:

1. G.W. Gray, Molecular structures and the properties of liquid crystals, Academic Press, London (1962).
2. M. Kleman and O. D. Lavrentovich, Soft Matter Physics: An Introduction (Springer-Verlag, New York, 2003).
3. C.E. Fairhurst, S. Fuller, J. Gray, M.C. Holmes, G.J.T. Tiddy, "Lyotropic surfactant liquid crystals", Ch.7. in "Handbook of Liquid Crystals, Vol. 3, Ed.: D. Demus et. Al., Wiley-VCH, Weinheim (1998).
4. A.M. Figueiredo Neto and S.R.A. Salinas, "Liquid Crystals: Phase Transitions and Structural Properties" , Oxford University Press, Oxford (2005).
5. G. Brown, J.J. Wolken, "Liquid Crystal and Biological Structures," Academic Press, NY (1979).
6. P.G. de Gennes, J. Prost, "The Physics of Liquid Crystals", second edition, Oxford Science Publications, (1993).
7. S. Chandrasekhar, "Liquid crystals", 2nd edition, Cambridge University Press, Cambridge, 1992.
8. G.W. Gray and J.W. Goodby, "Smectic Liquid Crystals ", Leonard Hill Publishing (1984) ISBN 0-249-44168-3
9. D. Demus and L. Richter, "Textures of Liquid Crystals "Verlag Chemie: New York (1978) ISBN 0-89573-015-4 (NY) or ISBN 3-527-25796-9 (Weinham).
10. I. Dierking, „Textures of Liquid Crystals", Wiley-VCH, Weinheim, 2003
11. T. Uchida, H. Seki, "Liquid Crystals: Applications and uses (World Scientific, Singapore), Vol. 3 Chapter 5 (1992), Ed.: B. Bahadur.
12. G. Barbero, G. Durand, "Surface anchoring of nematic liquid crystals" chapter 2 in "Liquid crystals in Complex geometries, Eds.: G. Crawford, S. Zumer, Taylor and Francis (1996).
13. J.W. Godby, "Ferroelectric liquid crystals. Principles, properties and applications", Gordon and Breach, Philadelphia (1991).
14. S.T. Lagerwall, "Ferroelectric and antiferroelectric liquid crystals", Wiley-VCH, Weinheim, 1999.
15. L. W. MacDonald and T. Lowe, Display systems: design and application. John Wiley & Son, 1997.
16. Готра З.Ю., Зелінський Р.Я., Микитюк З.М., Сорокін В.М., Сушинський О.Є., Фечан А.В., Рідкокристалічна електроніка. За ред. Готрои З.Ю., Львів, Вид. Апріорі, 2010.

Додаткова:

17. A. Trokhymchuk, On Julius Planer's 1861 paper "Notiz über das Cholestearin" inAnnalen der Chemie und Pharmacie, Condens. Matter Phys. 13 (3) (2010), 37002.
18. D. Blunk, K. Praefcke, V. Vill, "Amphotropic liquid crystals" in "Handbook of Liquid Crystals" editors:, D. Demus, J. Goodby, G.W. Gray, H.W. Soiess, V. Vill, vol. 3: Wiley-VHC, 305, (1998)
19. C. Tschierske, Current Opinion in Colloidal & Interface Science 7, 355 (2002).
20. J.E. Lydon, Chromonic mesophases, Curr. Op, Colloid Interface Sci, 8, 2004, pp. 480–489.
21. L. Onsager, Ann. N.Y. Acad. Sci. 51, 627 (1949).
22. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Статистическая физика. Часть 1. Издание 3-е, доп. М.: Наука, 1976. 584 с. («Теоретическая физика», том V).
23. F.C. Frank, Discussions Faraday Soc., 25, 19 (1958).
24. A. Rapini, M. Papoular, J. Phys. Colloq., 30, C4-54 (1969).
25. D. Berreman, Phys. Rev. Lett., 28, 1683 (1972).
26. D. Dunmur, K. Toriyama, "Magnetic properties of liquid crystals" chapter IV.2 in "Physical Properties of Liquid crystals", Eds.: D. Demus, J. Goodby, G.W. Gray, H.-W. Spiess, V. Vill, Wiley_VCH (1999).
27. V. Freedericks, V. Zolina, Trans. Faraday Soc., 29, 9199 (1933).
28. P. Pieranski, E. Guyon and P. Keller, J. Phys., 36, 1005 (1975).
29. W.H. Zurek, Nature, 317, 505 (1985).
20. N. Turok, Phys. Rev. Lett., 63, 2625 (1989).