

КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА

Фізичний факультет

Кафедра теоретичної фізики



**РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ**  
LC filled with nano-particles / Рідкі кристали наповнені наночастинками

галузь знань 10 Природничі науки  
(шифр і назва)  
спеціальність 104 Фізика та астрономія  
(шифр і назва спеціальності)  
освітній рівень доктор філософії  
(молодший бакалавр, бакалавр, магістр)  
освітня програма Фізика та астрономія  
(назва освітньої програми)  
вид дисципліни вибіркова

Форма навчання	<u>очна</u>
Навчальний рік	<u>2018 /2019</u>
Семестр	<u>4</u>
Кількість кредитів ECTS	<u>4</u>
Мова викладання, навчання та оцінювання	<u>українська</u>
Форма заключного контролю	<u>іспит</u>

Викладачі: професор Решетняк Віктор Юрійович

(Науково-педагогічні працівники, які забезпечують викладання даної дисципліни у відповідному навчальному році)

Пролонговано: на 2019/2020 н.р.  (Оліх О.Я.) «10» 05 2019 р. №21  
(підпис, ПІБ, дата)

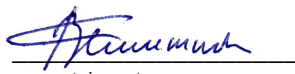
на 20\_\_/20\_\_ н.р. \_\_\_\_\_ (\_\_\_\_\_) «\_\_» \_\_ 20\_\_ р.  
(підпис, ПІБ, дата)  
(підпис, ПІБ, дата)

КИЇВ – 2018

Розробники: Решетняк Віктор Юрійович, доктор фіз.-мат. наук, професор, завідувач кафедри теоретичної фізики  
(вказати авторів: ПІБ, науковий ступінь, вчене звання, посада, кафедра)

**«ЗАТВЕРДЖЕНО»**

Зав. кафедри теоретичної фізики

  
(підпис)

(Решетняк В.Ю.)  
(прізвище та ініціали)

Протокол від « 30 » 03 2018 р. за № 17

Схвалено науково - методичною комісією фізичного факультету

Протокол від «\_16\_» \_\_\_\_04\_\_\_\_ 2018 року №\_12\_

Голова науково-методичної комісії \_\_\_\_\_  
(Зеленський С.Є.)  
(підпис) (прізвище та ініціали)

## ВСТУП

**1. Мета дисципліни** – оволодіння аспірантами знаннями з електродинаміки неоднорідних анізотропних композитів на основі рідких кристалів та наночастинок; опанування та розробка деяких комп'ютерних програм та моделей, що застосовуються при розв'язку складних задач фізики рідких кристалів.

### 2. Попередні вимоги до опанування або вибору навчальної дисципліни:

- Знати основні закони електрики, оптики, математичного аналізу, звичайні диференціальні рівняння, класичну електродинаміку та методи математичної фізики.
- Вміти застосовувати попередні знання з курсів математичного аналізу, математичної фізики, основ векторного та тензорного аналізу та диференціальних рівнянь для розв'язку алгебраїчних та диференціальних рівнянь та систем; аналізувати складові частини вільної енергії колоїдів, аналізувати взаємодію зовнішнього поля з гетерогенним колоїдом; користуватися сучасними комп'ютерними програмами для розв'язання задач електродинаміки та мінімізації функціонала вільної енергії.
- Володіти елементарними навичками обчислення похідних, інтегралів, графічно будувати графіки функцій, визначати та розкладувати функції в ряд та інтеграл Фур'є. Вільно володіти навичками представлення дельта-функції, Гама-функції, Бета-функції.

### 3. Анотація навчальної дисципліни / референс:

Навчальна дисципліна «LC filled with nano-particles / Рідкі кристали наповнені наночастинами» є складовою циклу дисциплін самостійного вибору навчального закладу для професійної підготовки докторів філософії за спеціалізацією «теоретична фізика». Програма курсу орієнтована на здобувачів, які вже знайомі з математичним аналізом, основами векторного та тензорного аналізу, загальним курсом механіки, електрики, оптики, диференціальним численням, програмними розрахунками. Курс «LC filled with nano-particles / Рідкі кристали наповнені наночастинами» дає знання з сучасної теорії рідких кристалів, наповнених наночастинами. Гетерогенні колоїди на основі рідких кристалів є перспективними матеріалами, властивостями яких можна керувати за допомогою зовнішніх електричних та магнітних полів. Особлива увага приділяється питанням розрахунку ефективних електродинамічних параметрів анізотропних колоїдів. Результати навчання полягають у розв'язку складних задач фізики рідких кристалів сучасними методами теоретичної фізики, зокрема, теорії фазових перетворень та флуктуацій, лінійної та нелінійної оптики, гідродинаміки, теорії дефектів тощо. Також, як результат, здобувачі здатні розв'язувати комплексні проблеми в галузі професійної та дослідницько-інноваційної діяльності, що передбачає глибоке переосмислення наявних та створення нових цілісних знань. Методи викладання: лекції, консультації, практичні заняття. Методи оцінювання: опитування в процесі занять, контрольні роботи після основних розділів курсу, захист написаних рефератів, іспит. Підсумкова оцінка виставляється на основі проміжних оцінок (60%) та іспиту (40%).

**4. Завдання (навчальні цілі)** – оволодіння аспірантами методів отримання, експериментального дослідження та теоретичного опису задач з курсу теорії рідких кристалів, зокрема, здатність здобувачами застосовувати знання у практичних ситуаціях для розрахунку пружної енергії орієнтаційної деформації рідких кристалів, дослідження поведінки рідких кристалів наповнених наночастинами у зовнішньому електричному або магнітному полі, тощо. Також здатність вчитися й оволодівати сучасними знаннями з курсу «LC filled with nano-particles / Рідкі кристали наповнені наночастинами», здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел, в тому числі, електронних ресурсів, та здатність аспірантів до абстрактного мислення, аналізу та синтезу матеріалу з всіх фізичних дисциплін.

Згідно вимог проекту Стандарту вищої освіти України (третій рівень вищої освіти, галузь знань 10 «Природничі науки», спеціальність 104 «Фізика та астрономія», ОНП «Фізика та астрономія» дисципліна забезпечує набуття здобувачами освіти наступних **компетентностей**:

#### *Інтегральних:*

Здатність розв'язувати комплексні проблеми в галузі професійної та/або дослідницько-інноваційної діяльності, що передбачає глибоке переосмислення наявних та створення нових цілісних знань та/або професійної практики.

#### *Загальних:*

- Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу (ЗК 1).
- Навички використання інформаційних і комунікаційних технологій (ЗК 2).
- Вміння виявляти, ставити та вирішувати проблеми (ЗК 4).
- Здатність працювати в міжнародному контексті (ЗК 6).
- Здатність працювати автономно та в команді (ЗК 7).
- Здатність розробляти та управляти проектами (ЗК 8).

- Здатність оцінювати та забезпечувати якість виконуваних робіт (ЗК 10).
- Визначеність і наполегливість щодо поставлених завдань і взятих обов'язків (ЗК 11).
- Здатність діяти соціально відповідально та свідомо, нести повну відповідальність за самостійно виконану роботу (ЗК 12).

*Фахових:*

- Здатність застосовувати знання теорій опису фізичних властивостей низькорозмірних систем різних типів та знання фізики низькорозмірних напівпровідників (ФК7).
- Здатність використовувати знання й уміння в галузі практичного використання комп'ютерних технологій для дослідження низькорозмірних систем (ФК8).
- Вміння зображувати і досліджувати можливі варіанти розширення Стандартної моделі фізики елементарних частинок на основі квантової теорії поля (ФК9).
- Вміння застосовувати методи квантової теорії поля в теорії конденсованого стану (ФК10).
- Здатність застосовувати методи теорії взаємодії електромагнітних хвиль на динамічних періодичних структурах речовини (ФК15).
- Здатність до пошуку, обробки та аналізу інформації, розробка і впровадження інформаційних систем, використання сучасних програмних пакетів для розрахунку електронної та атомної структури матеріалів (ФК16).

**5. Результати навчання за дисципліною:** (описуються з детальною достовірністю для розробки заходів оцінювання)

<i>Результат навчання</i> (1. знати; 2. вміти; 3. комунікація*; 4. автономність та відповідальність*)		<i>Методи викладання і навчання</i>	<i>Методи оцінювання</i>	<i>Відсоток у підсумковій оцінці з дисципліни</i>
Код	Результат навчання			
1.1	Знати ключові поняття теорії рідких кристалів, зокрема класифікацію рідких кристалів та теорію самоузгодженого поля рідких кристалів.	<i>Лекції</i> <i>Самостійна робота</i>	<i>Усні відповіді, іспит</i>	5
1.2	Знати основні методи розрахунку ефективних значень тензора діелектричної проникності гетерогенних середовищ.	<i>Лекції</i> <i>Самостійна робота</i> <i>Практичні роботи</i>	<i>Усні відповіді, задачі, іспит</i>	5
1.3	Знати методи розрахунку просторового розподілу директора рідкого кристалу.	<i>Лекції</i> <i>Самостійна робота</i> <i>Практичні роботи</i>	<i>Усні відповіді, задачі, іспит</i>	5
1.4	Знати як отримується пружна енергія орієнтаційної деформації рідких кристалів; дефекти в рідких кристалах; поведінку рідких кристалів у зовнішньому електричному або магнітному полі; флуктуації директора нематичного рідкого кристалу; рівняння гідродинаміки рідких кристалів; особливості оптики холестеричних рідких кристалів; особливості смектичних рідких кристалів;	<i>Лекції</i> <i>Самостійна робота</i> <i>Практичні роботи</i>	<i>Усні відповіді, задачі, перевірка рефератів та інших форм самостійної роботи, іспит</i>	10
1.5	Знати експериментальні методи дослідження колоїдів на основі рідких кристалів, у тому числі пакети числового моделювання цих процесів.	<i>Лекції</i> <i>Самостійна робота</i> <i>Практичні роботи</i>	<i>Модульна контрольна робота</i>	25
2.1	Вміти вивести рівняння нематостатики та нематодинаміки.	<i>Лекції</i> <i>Самостійна робота</i> <i>Практичні роботи</i>	<i>Усні відповіді, звіти про виконання практичних робіт, іспит</i>	5
2.2	Вміти отримати критичні значення температури фазового переходу та параметру порядку.	<i>Лекції</i> <i>Самостійна робота</i> <i>Практичні роботи</i>	<i>Усні відповіді, задачі, іспит</i>	5

\* заповнюється за необхідністю, наприклад для практик, лабораторних курсів тощо.

2.3	Вміти отримати умови втрати стійкості однорідного стану при прикладанні зовнішнього поля.	Лекції Самостійна робота Практичні роботи	Опитування в процесі лекції, Звіти про виконання практичних робіт, іспит	5
2.4	Вміти робити теоретичні розрахунки просторового розподілу зовнішнього електричного поля та директора рідкого кристалу у РК колоїдах.	Лекції Самостійна робота Практичні роботи	Модульна контрольна робота	15
2.5	Вміти моделювати оптичні властивості рідкокристалічних колоїдів з використанням сучасних числових пакетів.	Лекції Самостійна робота Практичні роботи	Перевірка рефератів та програм по темі	10
3.1.	Демонструвати спілкування в діалоговому режимі з колегами та цільовою аудиторією, ведення професійної наукової дискусії.	Лекції Самостійна робота Практичні роботи	Оцінювання доповідей здобувачів та інших форм самостійної роботи	5
3.2.	Письмово відображувати та презентувати результати своїх досліджень англійською мовою	Самостійна робота Практичні роботи	Звіти про виконання практичних робіт	5

**6. Співвідношення результатів навчання дисципліни із програмними результатами навчання (необов'язково для вибіркових дисциплін)**

Результати навчання дисципліни Програмні результати навчання	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	3.1	3.2
	ПРН 1.1. Знати основи методології та організації наукових досліджень.	+	+	+	+	+						
ПРН 1.2. Знати основи теорії твердого тіла, м'якої речовини та процесів взаємодії електромагнітного випромінювання з молекулами, наночастинками та кристалами і рідинами.		+		+								
ПРН 1.4. Знати особливості будови, фізичних властивостей рідких кристалів, наночастинок та наноструктур на їх основі, теоретичних моделей, що застосовуються для їх опису та методів експериментального дослідження.	+	+	+	+	+							
ПРН 1.6. Знати принципи побудови гетерогенних систем, сучасні теоретичні та експериментальні методи дослідження та діагностики гетерогенних систем.					+							
ПРН 1.7. Знати теоретичні методи опису процесів взаємодії електромагнітного випромінювання та зовнішніх полів з гетерогенними анізотропними системами.				+								
ПРН 1.8. Знати основи фізики рідких кристалів.	+	+	+	+	+							
ПРН 1.10. Знати основи методології та організації наукових досліджень.	+	+	+	+	+							
ПРН 1.11. Знати методи отримання, моделювання та особливості структури та властивостей гетерогенних анізотропних систем.					+							
ПРН 1.12. Знати програмні пакети для розрахунку електронної та атомної структури матеріалів.					+							
ПРН 2.4. Вміти формулювати фізичні принципи взаємодії зовнішніх полів з анізотропними гетерогенними системами на основі рідких кристалів;							+	+				

планувати та виконувати моделювання в галузі дослідження анізотропних гетерогенних систем;													
ПРН 2.5. Вміти оцінювати точність основних теоретичних методів дослідження анізотропних гетерогенних систем.											+		
ПРН 2.10. Вміти встановлювати зв'язки між особливостями структури рідких кристалів, властивостями наночастинок та ефективними параметрами гетерогенних систем на їх основі.							+	+	+	+	+		
ПРН 2.11. Вміти обирати відповідні програмні пакети для наукових розрахунків.											+		
ПРН 4.3. Здійснювати процедуру встановлення цінності джерел наукової інформації шляхом порівняльного аналізу з іншими джерелами.												+	+

## 7. Схема формування оцінки.

### 7.1 Форми оцінювання студентів:

#### - семестрове оцінювання:

1. *Модульна контрольна робота* : РН 1.5, 2.4- 15 балів / 9 балів

2. *Захист звітів практичних робіт, усні відповіді, задачі* : РН 1.1-1.3/2.1-2.3, 3.1,3.2 - 9 балів / 15 балів

3. *Захист реферату* : РН 1.4, 2.5 - 6 балів / 6 балів

#### - підсумкове оцінювання: у формі іспиту

*Підсумкова оцінка з освітнього компонента в цілому, підсумковою формою контролю за яким встановлено іспит, визначається як сума оцінок (балів) за всіма успішно оціненими результатами навчання під час семестру (оцінки нижче мінімального порогового рівня до підсумкової оцінки не додаються) та оцінки, отриманої під час іспиту.*

*Формою проведення іспиту є написання письмової роботи з подальшою усною співбесідою. Результатами навчання, які оцінюються на іспиті, є РН 1.1-3.2. Максимальна кількість балів, яка може бути отримати здобувачем освіти під час іспиту, становить 40 балів за 100 бальною шкалою.*

*Перескладання семестрового контролю з метою покращення позитивної оцінки не допускається.*

#### - умови допуску до підсумкового іспиту:

*Обов'язковою умовою допуску до іспиту є відпрацювання всіх практичних робіт та написання модульних контрольних робіт. Здобувач освіти не допускається до іспиту, якщо під час семестру набрав менше ніж 36 балів.*

### 7.2. Організація оцінювання:

*Модульні контрольні роботи 1 - 2 проводяться по завершенні тематичних лекцій з Розділів 1-2 відповідно.*

*Захист звітів практичних робіт проводиться упродовж семестру.*

### 7.3 Шкала відповідності оцінок

<b>Відмінно / Excellent</b>	90-100
<b>Добре / Good</b>	75-89
<b>Задовільно / Satisfactory</b>	60-74
<b>Незадовільно / Fail</b>	0-59

**8. СТРУКТУРА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ  
ТЕМАТИЧНИЙ ПЛАН ЛЕКЦІЙ І ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ**

№ п/п	Назва теми	Кількість годин		
		лекції	практичні	Самостійна робота
1	<b>Topic 1.</b> Classification of LCs. Order parameter. Mean-field theory. Landau Theory of LCs. Elastic energy of the LC director deformation / Класифікація РК. Параметр порядку. Теорія середнього поля. Теорія Ландау РК. Пружня енергія деформації директора РК.	2		6
2	<b>Topic 2.</b> LC in external fields. Coherence length. Anchoring energy. The Fredericks transition in the magnetic field. The Fredericks transition in the electric field / РК у зовнішньому полі. Довжина когерентності. Енергія зчеплення. Перехід Фредерікса в магнітному полі. Перехід Фредерікса в електричному полі.	2		12
3	<b>Topic 3.</b> Tensor order parameter of LC. LC free energy as a series expansion in terms of tensor order parameter. Minimization of total free energy, Euler-Lagrange equation / Тензорний параметр порядку РК. Розклад вільної енергії РК по тензорному параметру порядку. Мінімізація вільної енергії, рівняння Ейлера-Лагранжа.	2		12
4	<b>Topic 4.</b> LC director fluctuations. Light scattering caused by the LC director fluctuations / Флуктуації в РК Розсіяння світла на флуктуаціях директора.	2		6
5	<b>Topic 5.</b> Electrodynamic properties of nanoparticles. Core-shell nanoparticles. Homogenization of a core-shell nanoparticle. Effective Dielectric Permeability Tensor of a Heterogeneous System: an anisotropic matrix filled with core-shell nanoparticles of different nature / Електродинамічні властивості наночастинок. Наночастинки в оболонці. Гомогенізація частинки в оболонці. Ефективний тензор діелектричної проникності гетерогенної системи: анізотропна матриця наповнена наночастинками в оболонці різної природи.	2		12
	<i>Модульна контрольна робота 1</i>		2	
6	<b>Topic 6.</b> Liquid crystals filled with ferromagnetic and ferroelectric nano-particles. Hydrodynamics of LC. Orientation in the flow. The instability of LC in alternating electric field / Рідкі кристали, наповнені ферромагнітними та фероелектричними нано-частинками. Гідродинаміка РК. Орієнтація в потоці. Нестійкість РК в змінному електричному полі.	2		12
7	<b>Topic 7.</b> Defects in LCs. Defects in LCs containing nanoparticles inside the defect. Optics of cholesteric LCs. Mauguin regime, selective reflection of electromagnetic wave. LCs dispersed in a polymeric matrix / Дефекти в РК. Дефекти в РК з наночастинками всередині дефекту. Оптика холестеричних РК. Режим Могена, режим селективного відбиття електромагнітної хвилі. РК дисперговані в полімерній матриці.	2		12
8	<b>Topic 8.</b> Peculiarities of smectic LCs. Influence of nanoparticles on smectic properties. Lyotropic liquid crystals. Application of lyotropic LCs in biology and medicine. Influence of ferroelectric, ferromagnetic and metallic nanoparticles on the properties of lyotropic LC / Особливості смектичних РК. Вплив наночастинок на властивості смектиків. Ліотропні рідкі кристали. Застосування в біології та медицині. Вплив фероелектричних, феромагнітних та металевих	2		12

	наночастинок на властивості ліотропних РК.			
9	<b>Тopic 9.</b> Using Matlab and Comsol packages to calculate the spatial distributions of the LC director, electric field, and optical properties / Використання пакетів Матлаб та Комсол для розрахунку просторових розподілів директора РК, електричного поля та оптичних властивостей.	2		12
	<b>Модульна контрольна робота 2</b>		2	
	<b>ВСЬОГО</b>	<b>18</b>	<b>4</b>	<b>96</b>

*Примітка:* слід зазначити теми, винесені на самостійне вивчення. Кожна тема розглядається на лекції. На самостійну роботу аспірантам з кожної теми залишаються окремі математичні викладки, прості означення, застосування та написання програмного забезпечення для розв'язку задач по рідким кристалам наповнених наночастинками.

**Загальний обсяг 120 год.**, в тому числі:

Лекцій – **18 год.**

Семінари – **0 год.**

Практичні заняття – **4 год.**

Лабораторні заняття – **0 год.**

Тренінги – **0 год.**

Консультації - **2 год.**

Самостійна робота - **96 год.**

## 9. РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

*Основна: (Базова)*

1. П. де Жен. Физика жидких кристаллов. М.: Мир, 1977;
2. С. Чандрасекар. Жидкие кристаллы. М.: Мир, 1980;
3. Блинов Л.М. Электро- и магнитооптика жидких кристаллов. М.: Наука, 1978;
4. Л.Д.Ландау, Е.М.Лифшиц, Теоретическая физика, т.2 Теория поля, Москва, Наука, 1988;
5. Л.Д.Ландау, Е.М.Лифшиц, Теоретическая физика, т.8 Электродинамика сплошных сред, Москва, Наука, 1982;
6. V. Yu. Reshetnyak. Cloaking by shells with radially inhomogeneous anisotropic permittivity / V. Yu. Reshetnyak, I. P. Pinkevych, I. T. J. Sluckin, and D. R. Evans // Optical Express A32 – 2016 – Vol. 24, no. 2. – # 251939;
7. Yurii Reznikov. Ferroelectric nematic suspension / Yurii Reznikov, Olexander Buchnev, and Olexander Tereshchenko, Victor Reshetnyak, Anatoliy Glushchenko and John Wes // Applied Physics Letters – Applied Physics Letters – 2003 – Vol. 82, no. 12. – p. 1917-1919;
8. Anna N. Morozovska. Controlling the domain structure of ferroelectric nanoparticles using tunable shells / Anna N. Morozovska, Eugene A. Eliseev, Yevhen M. Fomichov, Yulian M. Vysochanskii, Victor Yu. Reshetnyak, Dean R. Evans // Acta Materialia 183 – 2002 – pp. 36-50;
9. V.Yu. Reshetnyak. Effective medium theory for anisotropic media with plasmonic core-shell nanoparticle inclusions / V.Yu. Reshetnyak, I.P. Pinkevych, T.J. Sluckin, A.M. Urbas, and D.R. Evans // Eur. Phys. J. Plus – 2018 – p. 133;
10. V. I. Zadorozhnyi. The Frederiks effect and related phenomena in ferronematic materials / V. I. Zadorozhnyi, T. J. Sluckin, V. YU. Reshetnyak, and K. S. Thomas // Siam J. Appl. Math. – 2008 – Vol. 68, No. 6 – pp. 1688-1716.

*Додаткова:*

1. Сонин А.С. Введение в физику жидких кристаллов. М.: Наука, 1983;
2. Беляков В.А., Сонин А.С. Оптика жидких кристаллов. М.: Наука, 1982;
3. I.C. Khoo Liquid Crystals: Physical Properties and Nonlinear Optical Phenomena;
4. V. YU. Reshetnyak. Controlling hyperbolic metamaterials with a core-shell nanowire array / V. YU. Reshetnyak, I. P. Pinkevych, A. M. Urbas, and D. R. Evans // Optical Materials Express 544 – 2017 – Vol. 7, No. 2 – #280558.