

## **СИЛАБУС НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ**

### **Прикладні аспекти фізики конденсованих середовищ**

спеціальність: 105 – Прикладна фізика та наноматеріали

2022 навчальний рік

#### **I. Опис навчальної дисципліни**

Навчальна дисципліна обов'язкового компонента

Складена відповідно до освітньо-наукової програми підготовки докторів філософії (третій рівень вищої освіти) за спеціальністю 105 – Прикладна фізика та наноматеріали.

Рік, на якому реалізується вивчення дисципліни – 1 та 2 (перши та другий)

Семестр, на якому реалізується вивчення дисципліни – 3 (третій)

Кількість кредитів – 5 кредитів

Загальна кількість годин – 150 годин

З них:

аудиторні заняття (лекції та семінари) – 60 годин

самостійна робота – 90 годин

#### **II. Інформація про викладачів**

1) ПП: Сорокін Олександр Васильович

Науковий ступінь: доктор фізико-математичних наук

Вчене звання: – старший науковий співробітник

Посада: заступник директора з наукової роботи, старший науковий

співробітник відділу наноструктурних матеріалів ім. Ю.В. Малюкіна

Контактна інформація: +38 057 341-03-24, sorokin@isma.kharkov.ua

2) ПП: Лисецький Лонгін Миколайович

Науковий ступінь: доктор фізико-математичних наук

Вчене звання: – професор

Посада: провідний науковий співробітник відділу наноструктурних матеріалів ім. Ю.В. Малюкіна

Контактна інформація: +38 057 341-03-58, lcsciencefox@gmail.com

3) ПП: Ващенко Ольга Валеріївна

Науковий ступінь: доктор фізико-математичних наук

Вчене звання: – старший науковий співробітник

Посада: провідний науковий співробітник відділу наноструктурних матеріалів ім. Ю.В. Малюкіна

Контактна інформація: +38 057 341-03-58, olga\_v@isma.kharkov.ua

### III. Опис дисципліни

#### 1. Мета і завдання навчальної дисципліни

Метою навчальної дисципліни є: ознайомити аспірантів з основними ідеями та експериментальними методами дослідження оптичних та теплових властивостей конденсованих середовищ, зокрема молекулярних, діелектричних та напівпровідникових сполук, наноматеріалів та рідких кристалів.

Основними завданнями вивчення дисципліни «Прикладні аспекти фізики конденсованих середовищ» є:

- Ознайомлення з основними принципами та теоріями фізики конденсованих середовищ, зокрема оптичними та тепловими властивостями різних типів матеріалів, таких як молекулярні, діелектричні, напівпровідникові сполуки, наноматеріали та рідкі кристали.
- Розуміння методів та приладів, які використовуються для дослідження фізичних властивостей конденсованих середовищ, таких як спектроскопія, мікроскопія, калориметрія та термодинамічні методи.
- Вивчення основних характеристик та властивостей наноматеріалів, таких як розмір, форма, структура та електронні властивості, та їх впливу на оптичні та теплові властивості матеріалів.
- Розвиток навичок аналізу та інтерпретації даних експериментальних досліджень, які дозволяють визначати фізичні властивості конденсованих середовищ.
- Розуміння взаємодії фізичних процесів у конденсованих середовищах та їх впливу на фізичні властивості матеріалів.
- Розробка прикладних знань з фізики конденсованих середовищ, які можуть бути використані для розв'язання різних завдань у науці та технологіях, таких як розробка нових матеріалів, електроніки, сонячних батарей та інших пристроїв.

#### 2. Результати навчання (Компетентності)

- Наявність глибоких обґрунтованих знань в галузі прикладної фізики, структури та властивостей наноматеріалів, детальне розуміння підходів до створення і застосування новітніх матеріалів, вміння проводити експериментальні і теоретичні дослідження у галузі фізичного матеріалознавства.
- Знання сучасного стану, засад і принципів розвитку природничих наук на міжнародному, міждержавному, державному та регіональному рівнях.
- Розуміння основних концепцій та теорій фізики конденсованих середовищ, зокрема оптичних та теплових властивостей різних типів матеріалів.
- Здатність застосовувати теорії та методи фізики конденсованих середовищ для аналізу та розв'язання різних задач, пов'язаних з дослідженням властивостей матеріалів.

- Вміння використовувати різні методи та інструменти для дослідження фізичних властивостей матеріалів, таких як спектроскопія, мікроскопія, калориметрія та термодинамічні методи.
- Знання та розуміння взаємодії фізичних процесів у конденсованих середовищах та їх впливу на фізичні властивості матеріалів.
- Розробка та застосування прикладних знань з фізики конденсованих середовищ, які можуть бути використані для розв'язання різних завдань у науці та технологіях.
- Розвиток навичок аналізу та інтерпретації даних експериментальних досліджень та розуміння важливості точності та надійності результатів дослідження.
- Здатність до комунікації та співпраці з колегами, що працюють в галузі фізики конденсованих середовищ, та здатність до адаптації до різних професійних ситуацій.

Усі ці компетентності можуть бути корисними для подальшої наукової роботи, дослідницької діяльності та роботи в галузі фізики твердого тіла, молекулярної фізики, матеріалознавства, енергетики, електроніки та інших технічних галузях. Компетентності, отримані при вивченні цієї дисципліни, також можуть бути корисними для розробки та вдосконалення нових матеріалів та технологій.

При вивченні цієї дисципліни аспіранти можуть розвивати свої навички критичного мислення, аналізу та проблемного мислення, а також навички використання інформаційних технологій, які можуть бути корисними в багатьох сферах життя та діяльності.

Отже, підсумовуючи, вивчення дисципліни «Прикладні аспекти фізики конденсованих середовищ» може допомогти аспірантам розвинути свої наукові та технічні знання та навички, які можуть бути корисними для подальшої наукової та професійної діяльності.

#### **IV. Обов'язкові завдання та методи контролю**

- Відвідування лекційних занять; виконання завдань самостійної роботи.
- Підсумковий контроль – залік, іспит.
- Розподіл балів

Поточний контроль та самостійна робота	Підсумковий контроль (іспит)	Сума
40	60	100

- Шкала оцінювання

Сума балів за всі види навчальної діяльності протягом семестру	Оцінка	
	для чотирирівневої шкали оцінювання	для дворівневої шкали оцінювання
90 – 100	відмінно	зараховано
70-89	добре	
50-69	задовільно	
1-49	незадовільно	не зараховано

## V. Опис навчальної дисципліни

### 1. Тематичний план лекційних занять

Тема 1. Основи молекулярної спектроскопії. Типи молекулярних спектрів. Коливальні та обертальні ступені свободи. Молекулярні орбіталі.

Тема 2. Спектри поглинання і люмінесценції. Взаємодія світла з речовиною. Поглинання і пропускання світла. Закон Бугера-Ламберта-Бера. Люмінесценція. Квантовий вихід і загасання люмінесценції.

Тема 3. Основи вимірювання люмінесценції. Анізотропія люмінесценції. Принципи роботи спектрофлюориметра. Чинники, що впливають на коректне вимірювання. Світлофільтри. Вимірювання часів життя. Люмінесцентна мікроскопія.

Тема 4. Гасіння люмінесценції і перенесення енергії. Види гасіння люмінесценції. Відхилення закону гасіння від прямої. Безвипромінювальне перенесення енергії. Умови реалізації FRET. Механізми FRET. Ефективність перенесення енергії. Homo-FRET.

Тема 5. Розсіювання світла. Види розсіювання світла. Релеєвське розсіювання. Неупруге розсіювання. Раманівське розсіювання.

Тема 6. Інфрачервона спектроскопія. Коливальні переходи. ІЧ спектри. Особливості вимірювання ІЧ спектрів.

Тема 7. Молекулярна спектроскопія з часовим розділенням. Часова залежність FRET. Перенесення енергії у системах з різної розмірністю. Спектроскопія накачування-зондування. Фотонне відлуння.

Тема 8. Сучасна мікроспектроскопія. Багатофотонна спектроскопія. Близько-польова скануюча мікроскопія. Одномолекулярна спектроскопія.

Тема 9. Міжмолекулярна взаємодія. Вплив розчинників на молекулярні спектри. Універсальні та специфічні типи взаємодії. Вплив температури і в'язкості. Перенесення заряду. Утворення димерів.

Тема 10. Впорядковані молекулярні агрегати. J-агрегати як новий клас молекулярних агрегатів. Ціанінові барвники. Екситонні властивості J-агрегатів. Структура молекулярних агрегатів. Технічні і біомедичні застосування.

Тема 11. Плазмонне підсилення люмінесценції мономерів та агрегатів органічних люмінофорів. Плазмонний резонанс. Плазмонне підсилення люмінесценції мономерів барвників. Особливості екситон-плазмонної взаємодії у випадку J-агрегатів. Поверхневі плазмонні поляритони у J-агрегатах.

Тема 12. Оптичні властивості галоїдних перовскітів: об'ємні матеріали та нанокристалів. Переваги та недоліки галоїдних перовскітів.

Тема 13. Фотодеградація органічних барвників. Механізми, причини та захист від неї.

Тема 14. Хемі- та електролюмінесценція. Основи фізики електролюмінесценції напівпровідників. Органічна електролюмінесценція. Основи фізики хемілюмінесценції. Особливості електрохемілюмінесценції.

Тема 15. Фотовольтаїка. Використання сонячної енергії. Основи роботи сонячної батареї. Фотовольтаїчні перетворювачі першого та другого покоління. Сонячні елементи третього покоління – найбільш перспективні технології. Комірки Гретцеля. Використання галоїдних перовскітів.

Тема 16. Рідкокристалічний стан речовини. Основні типи рідкокристалічних фаз. Хімічна структура молекул мезогенних речовин. Надмолекулярне впорядкування в нематичних, смектичних і холестеричних рідких кристалах (РК).

Тема 17. Рідкокристалічні композиції. Залежність фазового стану від температури. Орієнтаційне впорядкування в РК. Параметр порядку. Теорія Майєра-Заупе. Опис трансляційного впорядкування в РК. Смектичні РК.

Тема 18. Текстури РК. Реорієнтація молекул РК в електричному полі. Фізичні принципи дії електрооптичних комірок і РК-дисплеїв. Холестеричні РК. Молекулярна хіральність і спіральне закручування.

Тема 19. Селективне відбивання в холестеричних РК. Напрямки практичного застосування холестеричних РК. Теоретичні моделі спірального закручування в РК. Рідкокристалічні сегнетоелектрики.

Тема 20. Анізотропія фізичних властивостей РК. Шляхи покращення функціональних характеристик РК-матеріалів. Анізотропні середовища. Полімерні РК. Плівки Ленгмюра-Блоджетт.

Тема 21. Композитні наноматеріали на основі РК. Ліотропні РК. Рідкокристалічні властивості модельних клітинних мембран. Медико-біологічні застосування рідких кристалів.

Тема 22. Термічний аналіз. Основні поняття, визначення та закони.

Тема 23. Термогравіметричний аналіз. Диференціальний термічний аналіз.

Тема 24. Калориметрія. Термомеханічний аналіз та інші методи.

Тема 25. Застосування методів термоаналізу в матеріалознавстві.

Тема 26. Консультація перед іспитом. Іспит.

## 2. Завдання для самостійної роботи

- Квантово-механічний опис двохрівневої системи. Випромінювання чорного тіла. Квантова теорія поглинання і люмінесценції.

- Вимірювання поляризаційних спектрів. Анізотропія. Визначення квантового виходу люмінесценції. Джерела випромінювання. Раманівське розсіювання та інші багатофонові процеси.
- Розщеплення рівнів енергії у магнітному полі. Ефект Штарка. Правила відбору. Молекулярна симетрія і дозволені та заборонені переходи. Розрахунок дипольних моментів оптичних переходів. Апроксимація Бора-Опенгеймера, фактори Франка-Кондона і форма смуг поглинання. Переходи з перенесенням заряду і переходи Рідберга.
- Надвипромінювання Діке і екситонне надвипромінювання. Ефект Парсела.
- Використання молекулярних агрегатів в якості фотосенсибілізаторів.
- Квантово-розмірний ефект і енергія екситонного зв'язку.
- Екситонні матеріали у сонячній енергетиці.
- Теорія плазмонних коливань у наночастинках.
- Механізми фотодеградації барвників.
- Перенесення електрону в молекулах. Комплекси з перенесенням заряду. Перенесення протону (ІСТ). Перенесення протону з обертанням фрагменту (ТІСТ).
- Резонансне перенесення енергії. Механізми Ферстера і Декстера. Особливості перенесення енергії у мультихромофорних системах.
- Міграція енергії у молекулярних системах. Вплив розмірності. Модель випадкового блукання.
- Надмолекулярне впорядкування в нематичних, смектичних і холестеричних рідких кристалах (РК)
- Орієнтаційне впорядкування в РК. Параметр порядку. Теорія Майєра-Заупе. Опис трансляційного впорядкування в РК.
- Теоретичні моделі спірального закручування в РК.

### 3. Структура навчальної дисципліни

Назви модулів і тем	Кількість годин			
	Усього	у тому числі		
		Аудиторні заняття		самостійна робота
		лекції	семінари	
1	2	3	4	5
Тема 1	5	2		3
Тема 2	5	2		3
Тема 3	5	2		3
Тема 4	5	2		3
Тема 5	5	2		3
Тема 6	5	2		3
Тема 7	7	2		5
Тема 8	5	2		3
Тема 9	5	2		3
Тема 10	5	2		3

Тема 11	10	4		6
Тема 12	5	2		3
Тема 13	7	2		5
Тема 14	5	2		3
Тема 15	5	2		3
Тема 16.	5	2		3
Тема 17.	5	2		3
Тема 18.	5	2		3
Тема 19.	7	2		5
Тема 20.	5	2		3
Тема 21.	5	2		3
Тема 22.	5	2		3
Тема 23.	10	4		6
Тема 24.	10	4		6
Тема 25	5	2		3
Тема 26.	4	4		
<b>Усього годин</b>	<b>150</b>	<b>60</b>		<b>90</b>

## V. Рекомендована література

### Базова

1. W.W. Parson. *Modern Optical Spectroscopy*. –Berlin: Springer-Verlag, 2015. – 572 p.
2. B. Valeur. *Molecular Fluorescence. Principles and Applications*. – Weinheim: WILEY-VCH Verlag, 2002. – 381 p.
3. J.R. Lakowicz. *Principles of Fluorescence Spectroscopy. Third Edition*. – Singapore: Springer Science+Business Media, 2006. – 954 p.
4. M. Fox. *Optical Properties of Solids*. – New York: Oxford University Press Inc., 2001. – 305 p.
5. P.N. Prasad. *Nanophotonics*. – Hoboken: John Wiley & Sons, 2004. – 415 p
6. P.G. de Gennes, J. Prost. *The Physics of Liquid Crystals. Second Ed.* – Oxford: Clarendon Press, 1993. – 596 p.
7. R.G. Mortimer. *Physical Chemistry. Third Ed.* – Amsterdam: Elsevier Academic Press, 2008. – 1385 p.
8. W.W. Wendlandt *Thermal Analysis, 3rd Ed.* – New York: Wiley-Interscience, 1986. – 814 p.

## Допоміжна

1. G. Blasse, B. C. Grabmaier Luminescent Materials. – Berlin: Springer-Verlag, 1994. – 232 p.
2. A.P. Demchenko. Photobleaching of organic fluorophores: quantitative characterization, mechanisms, protection. Methods Appl. Fluoresc. 2020 8 022001
3. T. Kobayashi (Ed.). J-aggregates. Vol. 2. – Singapore: World Scientific Publishing, 2012. – 520 p.
4. I.-CH. Khoo. Liquid Crystals. Second Ed. – Hoboken: John Wiley & Sons, Inc., 2007. – 368 p.
5. P.J. Haines, Thermal Methods of Analysis. – Dordrecht: Springer Science+Business Media, 1995. – 272 p.