

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна
Кафедра фізики кристалів

“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Декан фізичного факультету

Руслан БОБК



2025 р.

ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Методи оптичної спектроскопії у фізиці конденсованого стану
(шифр і назва навчальної дисципліни)

рівень вищої освіти другий (магістерський)
галузь знань Е – Природничі науки, математика та статистика
(шифр і назва)
спеціальність Е5 – фізика та астрономія
(шифр і назва)
освітня програма освітньо-наукова - фізика
(шифр і назва)
спеціалізація _____
(шифр і назва)
вид дисципліни обов'язкова
(обов'язкова / за вибором)
факультет фізичний

Програму рекомендовано до затвердження Вченою радою фізичного факультету

29 серпня 2025 року, протокол № 10

РОЗРОБНИК ПРОГРАМИ: Семінько В.В., доктор фіз.-мат. наук, професор
кафедри фізики кристалів

Програму схвалено на засіданні кафедри фізики кристалів

Протокол №9 від 22 серпня 2025 року

В.о. завідувача кафедри:

В.С.Т.
(підпис)

Владислав СЕМІНЬКО
(прізвище та ініціали)

Програму погоджено методичною комісією фізичного факультету

Протокол №5 від 28 серпня 2025 року

Голова методичної комісії

М.М.
(підпис)

Микола МАКАРОВСЬКИЙ
(прізвище та ініціали)

Вступ

Програма навчальної дисципліни “ Методи оптичної спектроскопії у фізиці конденсованого стану ” складена відповідно до освітньо-наукової програми підготовки магістра спеціальності E5 – фізика та астрономія

Предметом вивчення навчальної дисципліни є закономірності формування оптичних спектрів у конденсованих середовищах.

1. Опис навчальної дисципліни

Метою викладання навчальної дисципліни є: ознайомити студентів з основними ідеями, теорією та експериментальними методами дослідження оптичних властивостей конденсованих середовищ, зокрема діелектричних та напівпровідникових сполук та наноматеріалів.

Основними завданнями вивчення дисципліни є: освоїти принципові основи та практичні можливості спектроскопічних методів дослідження конденсованих середовищ.

Згідно з вимогами освітньо-професійної (освітньо-наукової) програми студенти повинні досягти таких результатів навчання:

знати: основи спектроскопічних методів дослідження, можливості застосування спектральних методів аналізу для дослідження конденсованих середовищ, зокрема наноматеріалів;

вміти: застосовувати отримані знання при дослідженні оптичних властивостей конденсованих середовищ у вигляді об’ємних та нанорозмірних матеріалів.

Кількість кредитів – 4.

Загальна кількість годин – 120.

Характеристика навчальної дисципліни	
Денна форма навчання	Заочна (дистанційна) форма навчання
Рік підготовки	
5-й	
Семестр	
9-й	
Лекції	
48 год.	
Практичні, семінарські заняття	
год.	
Лабораторні заняття	
год.	
Самостійна робота	
72 год.	
Індивідуальні завдання	
год.	

Форма контролю – екзамен.

1.6. Згідно з вимогами освітньо-професійної програми студенти повинні досягти таких результатів навчання:

Згідно з вимогами освітньо-професійної програми студенти повинні досягти таких результатів навчання:

Компетентності, що мають бути сформовані:

Інтегральна: Здатність розв'язувати складні задачі і проблеми дослідницького та/або інноваційного характеру у фізиці та астрономії (ІК1).

Загальні

- Знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності (ЗК1)
- Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях (ЗК2).
- Здатність використовувати інформаційні та комунікаційні технології (ЗК4).
- Вміння виявляти, ставити та вирішувати проблеми (ЗК5).
- Здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями (ЗК6).
- Здатність працювати в міжнародному контексті (ЗК8).
- Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел (ЗК9).
- Здатність дотримуватися принципів академічної доброчесності (ЗК11).

Фахові

- Здатність використовувати закони та принципи фізики та/або астрономії у поєднанні із потрібними математичними інструментами для опису природних явищ (ФК1).

- Здатність формулювати, аналізувати та синтезувати рішення наукових проблем в області фізики та/або астрономії (ФК2).
- Здатність презентувати результати проведених досліджень, а також сучасні концепції у фізиці та/або астрономії фахівцям і нефахівцям (ФК3).
- Здатність комунікувати із колегами усно і письмово державною та англійською мовами щодо наукових досягнень та результатів досліджень в області фізики та/або астрономії (ФК4).
- Здатність сприймати новоздобуті знання в області фізики та астрономії та інтегрувати їх із уже наявними, а також самостійно опановувати знання і навички, необхідні для розв'язання складних задач і проблем у нових для себе деталізованих предметних областях фізики та/або астрономії й дотичних до них міждисциплінарних областях (ФК5).
- Здатність встановлювати зв'язок між експериментальними і теоретичними результатами, здійснювати феноменологічний та теоретичний опис досліджуваних явищ, об'єктів і процесів, пов'язувати результати досліджень із сучасними фізичними та астрономічними теоріями і уявленнями (ФК8).
- Здатність формулювати нові гіпотези та наукові задачі в області фізики та астрономії, вибирати відповідні методи для їх розв'язання, беручи до уваги наявні ресурси (ФК9).
- Здатність проводити аналіз наукових результатів, отриманих в області фізики та астрономії (ФК13).
- Здатність ефективно використовувати людські та матеріальні ресурси для вирішення фундаментальних та прикладних наукових завдань (ФК14).

1.7. Перелік результатів навчання, що формує дана дисципліна

Програмні результати навчання

Програмні результати навчання, що забезпечуються дисципліною:

- ✓ Використовувати концептуальні та спеціалізовані знання і розуміння актуальних проблем і досягнень обраних напрямів сучасної теоретичної і експериментальної фізики та/або астрономії для розв'язання складних задач і практичних проблем. (ПРН 1).
- ✓ Проводити експериментальні та/або теоретичні дослідження з фізики та астрономії, аналізувати отримані результати в контексті існуючих теорій, робити аргументовані висновки (включаючи оцінювання ступеня невизначеності) та пропозиції щодо подальших досліджень (ПРН 2).
- ✓ Обирати і використовувати відповідні методи обробки та аналізу даних фізичних та/або астрономічних досліджень і оцінювання їх достовірності (ПРН 4)

- ✓ . Здійснювати феноменологічний та теоретичний опис досліджуваних фізичних та/або астрономічних явищ, об'єктів і процесів (ПРН 5)
- ✓ Обирати ефективні математичні методи та інформаційні технології та застосовувати їх для здійснення досліджень та/або інновацій в області фізики та/або астрономії. (ПРН 6)
- ✓ Оцінювати новизну та достовірність наукових результатів з обраного напрямку фізики та/або астрономії, оприлюднених у формі публікації чи усної доповіді. (ПРН 7)
- ✓ Аналізувати та узагальнювати наукові результати з обраного напрямку фізики та/або астрономії, відслідковувати найновіші досягнення в цьому напрямі, взаємокорисно спілкуючись із колегами. (ПРН 9)
- ✓ Відшуковувати інформацію і дані, необхідні для розв'язання складних задач фізики та/або астрономії, використовуючи різні джерела, зокрема, наукові видання, наукові бази даних тощо, оцінювати та критично аналізувати отримані інформацію та дані. (ПРН 10)
- ✓ Застосовувати теорії, принципи і методи фізики та/або астрономії для розв'язання складних міждисциплінарних наукових і прикладних задач. (ПРН 11)
- ✓ Створювати фізичні, математичні і комп'ютерні моделі природних об'єктів та явищ, перевіряти їх адекватність, досліджувати їх для отримання нових висновків та поглиблення розуміння природи, аналізувати обмеження. (ПРН 13).

1.8. Пререквізити

Базові знання та вміння з курсу загальної фізики та основ фізики конденсованого стану.

2. Тематичний план навчальної дисципліни

Розділ 1. Основні поняття люмінесцентної спектроскопії.

Тема 1. Огляд історії розвитку спектроскопії. Види оптичних спектрів. Поглинання. Закон Бугера-Ламберта-Бера, сила осцилятора, дипольні моменти оптичних переходів. Люмінесценція. Природа та види люмінесценції. Криві загасання люмінесценції. Техніка вимірювання спектрів. Джерела збудження.

Тема 2. Взаємодія електромагнітних хвиль з речовинами Класична теорія випромінювання. Дипольне випромінювання. Квантова теорія випромінювання. Коефіцієнти Ейнштейна.

Тема 3. Атомні спектри. Спектри водню та воднеподібних атомів. Спектри атомів лужних металів. Спектри багатоелектронних атомів. Атомні терми. Вплив магнітного та електричного полів на атомні спектри. Молекулярні спектри та

діаграма Яблонського. Конфігураційна діаграма для молекул та домішкових іонів. Правило дзеркальної симетрії спектрів. Правило Каша. Принцип Франка-Кондона.

Розділ 2. Люмінесцентні властивості твердих тіл.

Тема 4. Зонна теорія та оптичні властивості твердих тіл. Фундаментальне поглинання. Графік та формула Тауца. Вплив тиску та температури на оптичні властивості твердих тіл. Екситони Ваньє-Мотта та Френкеля. Екситонне поглинання та люмінесценція.

Тема 5. Вплив домішкових іонів на люмінесцентні властивості кристалів. Типи домішкових іонів (іони перехідних металів та РЗ іони). Вплив кристалічного поля на спектри домішкових іонів. Однорідне та неоднорідне розширення спектральних смуг. 4f-4f та 4f-5d переходи рідкоземельних іонів. Переходи з перенесенням заряду. Термолюмінесценція та післясвітіння.

Тема 6. Методи розподіленої у часі люмінесцентної спектроскопії. TRES-спектри та криві загасання. Динамічне та статичне гасіння люмінесценції молекул. Сенсibilізоване випромінювання. Релаксація збуджень в активованих кристалах. Безвипромінювальне перенесення енергії. Радіус Ферстера. Ап-конверсія та крос-релаксація електронних збуджень. Квантове розщеплення. Міграція енергії електронних збуджень в кристалах.

Тема 7. Вплив поверхні та розміру на люмінесцентні властивості нанокристалів. Квантово-розмірний ефект в нанокристалах. Квантові точки. Плазмонні коливання у металевих наночастинках. Поверхневий плазмонний резонанс та плазмонно-підсилені оптичні процеси. Оптичні властивості РЗ-активованих нанокристалів. Вплив модифікації фононних спектрів на оптичні властивості нанокристалів. Технічні та біомедичні застосування люмінесцентних нанокристалів.

Тема 8. Практичне застосування оптичних матеріалів. Люмінофори та люмінесцентні технології. Електролюмінесценція та світлодіодні технології. Кристали та нанокристали для оптоелектронних, фотокаталітичних та сцинтиляційних застосувань.

3. Структура навчальної дисципліни

Назви модулів і тем	Кількість годин
---------------------	-----------------

	Денна форма						Заочна форма					
	Усього	у тому числі					Усього	у тому числі				
		л	п	лаб	інд	ср		л	п	лаб	інд	ср
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Тема 1.	14	6				8						
Тема 2.	20	2				18						
Тема 3.	20	6				14						
Тема 4.	12	2				10						
Тема 5.	18	8				10						
Тема 6.	10	8				2						
Тема 7.	18	10				8						
Тема 8.	8	6				2						
Усього годин	120	48				72						

4. Завдання для самостійної роботи

№ з/п	З використанням літературних джерел із списку рекомендованої літератури проробка питань, поставлених викладачем на лекції з теми:	Кількість годин
1	Квантово-механічний опис двохрівневої системи. Випромінювання чорного тіла. Квантова теорія поглинання і люмінесценції.	8
2	Вимірювання поляризаційних спектрів. Анізотропія. Визначення квантового виходу люмінесценції. Джерела випромінювання. Раманівське розсіювання та інші багатофонові процеси.	18
3	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.	14
4	Надвипромінювання Діке і екситонне надвипромінювання. Ефект Парсела.	10
5	Використання молекулярних агрегатів в якості фотосенсибілізаторів.	10
6	Квантово-розмірний ефект і енергія екситонного зв'язку.	2
7	Екситонні матеріали у сонячній енергетиці.	8
8	Теорія плазмонних коливань у наночастинках.	2

	Разом	72
--	--------------	-----------

5. Методи контролю

Письмові відповіді на запитання контрольної роботи.

Письмові відповіді на запитання екзаменаційного завдання

6. Розподіл балів, які отримують студенти

Поточний контроль, контрольні роботи та самостійна робота								Підсумковий контроль (екзамен)	Сума
T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8		
60								40	100

При оцінюванні за дисципліною «**Методи оптичної спектроскопії у фізиці конденсованого стану**» застосовується 100 - бальна шкала оцінювання. Бали можна отримати за виконання контрольних робіт (2 роботи по 20 балів кожна = 40 балів), роботу на лекціях (до 20 балів) та відповіді на запитання іспиту (два питання по 20 балів = 40 балів).

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

7. Рекомендована література

Базова

1. Simon S. H. The Oxford Solid State Basics. Oxford, 2013, 320pp.
2. Leverenz H.W. An introduction to luminescence of solids. New York, Dover Publications, 1968.
3. W.W. Parson. *Modern Optical Spectroscopy*. –Berlin: Springer-Verlag, 2015. – 572 p.
4. B. Valeur. *Molecular Fluorescence. Principles and Applications*. – Weinheim: WILEY-VCH Verlag, 2002. – 381 p.
5. J.R. Lakowicz. *Principles of Fluorescence Spectroscopy. Third Edition*. – Singapore: Springer Science+Business Media, 2006. – 954 p.
6. L. Novotny, B. Hecht. Principles of nano-optics. – Cambridge: Cambridge University Press, 2019. – 539 p.

Допоміжна

1. Ch. Kittel, Introduction to Solid State Physics, Wiley, 1996.
2. Henderson B., Imbush G. Optical Spectroscopy of Inorganic Solids, Oxford, 2006, 672 pp.
3. G. Blasse, B. C. Grabmaier Luminescent Materials. – Berlin: Springer-Verlag, 1994. – 232 p.
4. Phosphor Handbook, ed. by W. M. Yen, S. Shionoya, H. Yamamoto CRC Press, 2006, 1080 pp.
5. T. Kobayashi (Ed.). J-aggregates. Vol. 2. – Singapore: World Scientific Publishing, 2012. – 520 p.
6. P.N. Prasad. *Nanophotonics*. – Hoboken: John Wiley & Sons, 2004. – 415 p.