

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

Кафедра фізичної оптики

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Декан фізичного факультету



Руслан БОВК

« 29 » верня 2025 р.

Робоча програма навчальної дисципліни

**Хвилеводна оптика**

Рівень вищої освіти	другий (магістерський)
Галузь знань	10 – природничі науки
Спеціальність	104 – фізика та астрономія
Освітня програма	фізика (освітньо-наукова програма)
Спеціалізація	
Вид дисципліни	за вибором
Факультет	фізичний

2025 / 2026 навчальний рік

Програму рекомендовано до затвердження Вченою радою фізичного факультету.

Протокол від 29.08.2025 р. № 10.

РОЗРОБНИКИ ПРОГРАМИ:

Маковецький Євген Дмитрович, канд. фіз.-мат. наук, доцент каф. фізичної оптики

Програму схвалено на засіданні кафедри фізичної оптики.

Протокол від 27.08.2025 р. № 1.

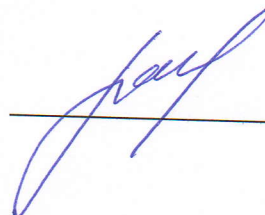
В. о. завідувача кафедри фізичної оптики



Сергій ТАРАПОВ

Програму погоджено з гарантом освітньо-наукової програми «Фізика».

Гарант освітньо-наукової програми

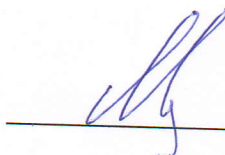


Дмитро РОХМІСТРОВ

Програму погоджено методичною комісією фізичного факультету.

Протокол від 28.08.2025 р. № 5.

Голова методичної комісії



Микола МАКАРОВСЬКИЙ

## ВСТУП

Програма навчальної дисципліни «Хвилеводна оптика» складена відповідно до освітньої програми підготовки «магістр» зі спеціальності «104 – фізика та астрономія», освітньо-наукова програма «Фізика».

### 1. Опис навчальної дисципліни

1.1. Мета викладання навчальної дисципліни – набуття студентами знань щодо способів обчислення характеристик та застосування оптичних хвилеводів, а також набуття навичок постановки експериментів з використання хвилеводів та нелінійних оптичних середовищ.

1.2. Основні завдання вивчення дисципліни – вивчити матеріал щодо оптичних хвилеводів в рамках робочої програми даного курсу та додаткового матеріалу, який рекомендовано вивчити самостійно; виконати серію лабораторних робіт з хвилеводної та нелінійної оптики.

Компетентності, що забезпечуються дисципліною:

- Здатність розв'язувати складні задачі і проблеми дослідницького та/або інноваційного характеру у фізиці та астрономії (ІК 1).
- Знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності (ЗК 1).
- Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях (ЗК 2).
- Здатність використовувати інформаційні та комунікаційні технології (ЗК 4).
- Вміння виявляти, ставити та вирішувати проблеми (ЗК 5).
- Здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями (ЗК 6).
- Здатність працювати в міжнародному контексті (ЗК 8).
- Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел (ЗК 9).
- Здатність дотримуватися принципів академічної доброчесності (ЗК 11).
- Здатність використовувати закони та принципи фізики та/або астрономії у поєднанні із потрібними математичними інструментами для опису природних явищ (ФК 1).
- Здатність формулювати, аналізувати та синтезувати рішення наукових проблем в області фізики та/або астрономії (ФК 2).
- Здатність презентувати результати проведених досліджень, а також сучасні концепції у фізиці та/або астрономії фахівцям і нефахівцям (ФК 3).
- Здатність комунікувати із колегами усно і письмово державною та англійською мовами щодо наукових досягнень та результатів досліджень в області фізики та/або астрономії (ФК 4).
- 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 (ФК 5).
- 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 (ФК 8).
- Здатність формулювати нові гіпотези та наукові задачі в області фізики та астрономії, вибирати відповідні методи для їх розв'язання, беручи до уваги наявні ресурси (ФК 9).

- Здатність проводити аналіз наукових результатів, отриманих в області фізики та астрономії (ФК 13).
- Здатність ефективно використовувати людські та матеріальні ресурси для вирішення фундаментальних та прикладних наукових завдань (ФК 14).

1.3. Кількість кредитів – 6.

1.4. Загальна кількість годин – 180.

1.5. Характеристика навчальної дисципліни	
Нормативна / за вибором	
Денна форма навчання	Заочна (дистанційна) форма навчання
Рік підготовки	
2-й	
Семестр	
3-й	
Лекції	
36 год.	
Практичні, семінарські заняття	
не передбачено навчальним планом	
Лабораторні заняття	
72 год.	
Самостійна робота	
72 год.	
в тому числі індивідуальні завдання	
курсова робота: 20 год.	

1.6. Заплановані результати навчання

У результаті вивчення даного курсу студент повинен

знати: основні теоретичні положення для опису оптичних властивостей металевих та діелектричних хвильоводів: плоских, прямокутного перерізу, круглого перерізу; головні відомі експериментальні результати досліджень оптичних властивостей хвильоводів.

вміти: застосовувати здобуті знання для одержання, аналізу та пояснення експериментальних даних при дослідженнях оптичних хвильоводів та нелінійних оптичних ефектів у них.

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, взаємодіючи 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).

## **2. Тематичний план навчальної дисципліни**

### *Розділ 1. Планарні хвильоводи*

- Тема 1.* Поперечні електромагнітні хвилі. Зв'язок між поняттями променю та моди. Променевий та модовий опис для двох паралельних дзеркал. Нормовані змінні.
- Тема 2.* Заломлення та відбиття на плоскій границі діелектриків. Закон Снелліуса. Закони Френеля. Кут Брюстера. Критичний кут падіння. Зсув фази при повному внутрішньому відбиванні. Зсув Гуса–Хенхена.
- Тема 3.* Променевий опис плоских діелектричних хвильоводів. Характеристичне рівняння. Ефективна ширина хвильоводу. Групова швидкість.
- Тема 4.* Опис плоских діелектричних хвильоводів на мові електромагнітних мод. TE- та ТМ-моди. Модові числа та умова відсічки. Слабонаправляючі хвильоводи.
- Тема 5.* Ефекти поглинання та підсилення. Стійкість моди. Умова відсічки мод. Хвильоводне розповсюдження за рахунок чистого підсилення.
- Тема 6.* Багатошарові хвильоводи. Теорія чотиришарового асиметричного плоского хвильоводу. Теорія п'ятишарового симетричного діелектричного хвильоводу.
- Тема 7.* Середовище з параболічним розподілом показника заломлення. Виведення характеристичних рівнянь з використанням методу локально плоских хвиль. Траєкторія променю. Зсув фази на каустиці. Характеристичне рівняння.

### *Розділ 2. Хвильоводи прямокутного перерізу*

- Тема 1.* Прямокутні хвильоводи зі стінками, що проводять. TE- та ТМ-моди, їх характеристики.
- Тема 2.* Прямокутні діелектричні хвильоводи. Наближений модовий аналіз. Метод ефективного показника заломлення.

### *Розділ 3. Хвильоводи круглого перерізу*

- Тема 1.* Розповсюдження світла у порожнистих трубках круглого перерізу. Виведення характеристичного рівняння у наближенні геометричної оптики.
- Тема 2.* Рівняння Максвелла у кругових циліндричних координатах. TE- та ТМ-моди.
- Тема 3.* Ступінчасті оптичні волокна. Приклади ефектів, пов'язаних із малими відхиленнями перерізу від круглої форми.

### 3. Структура навчальної дисципліни

Назви розділів і тем	Кількість годин											
	денна форма						заочна форма					
	усього	у тому числі					усього	у тому числі				
		л	п	лаб.	інд	с.р.		л	п	л.	інд	с.р.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
<b>Розділ 1. Планарні хвильоводи</b>												
Тема 1.	10	2		6		2						
Тема 2.	11	2		6		3						
Тема 3.	12	3		6		3						
Тема 4.	13	3		6		4						
Тема 5.	15	4		6		5						
Тема 6.	15	4		6		5						
Тема 7.	15	4		6		5						
Разом за розділом 1	91	22		42		27						
<b>Розділ 2. Хвильоводи прямокутного перерізу</b>												
Тема 1.	14	3		6		5						
Тема 2.	14	3		6		5						
Разом за розділом 2	28	6		12		10						
<b>Розділ 3. Хвильоводи круглого перерізу</b>												
Тема 1.	13	2		6		5						
Тема 2.	14	3		6		5						
Тема 3.	14	3		6		5						
Разом за розділом 3	41	8		18		15						
<b>Індивідуальні завдання</b>												
Курсова робота	20					20						
<b>Усього годин</b>	180	36		72		72						

### 4. Теми лабораторних занять

№ з/п	Теми	Кільк. годин
1	Вступне заняття. Інструктаж з техніки безпеки	6
2	Лазер на розчині барвника родамін 6Ж (частина 1)	6
3	Лазер на розчині барвника родамін 6Ж (частина 2)	6
4	Отримання голограм (частина 1)	6
5	Отримання голограм (частина 2)	6
6	Електрооптична модуляція випромінювання	6
7	Ефект самодефокусування у поглинаючому розчині (частина 1)	6
8	Ефект самодефокусування у поглинаючому розчині (частина 2)	6
9	Дослідження спектрів поглинання і люмінесценції рубіна (частина 1)	6
10	Дослідження спектрів поглинання і люмінесценції рубіна (частина 2)	6
11	Визначення товщини і показника заломлення тонкого діелектричного шару за допомогою хвильоводних мод	6
12	Захист лабораторних робіт	6
	Разом	72

### 5. Завдання для самостійної роботи

№ з/п	Види, зміст самостійної роботи	Кільк. годин
1	Ознайомитись з променевим та хвильовим описом відбиття та заломлення на границі двох середовищ і з умовами застосовності цих підходів	2
2	Ознайомитись із методом обчислення зсуву фази при повному внутрішньому відбиванні та його зв'язком зі зсувом Гуса–Хенхена	3
3	Ознайомитись із виведенням характеристичного рівняння для планарного прозорого діелектричного хвильоводу в рамках променевої моделі, та його різними формами, включно з відмінностями рівнянь для ТЕ- та ТМ-мод	3
4	Ознайомитись із виведенням характеристичного рівняння для планарного прозорого діелектричного хвильоводу в рамках хвильової моделі, та його різними формами, включно з відмінностями рівнянь для ТЕ- та ТМ-мод	4
5	Ознайомитись із впливом уявних частин показників заломлення планарного хвильоводного середовища та оточуючих середовищ на можливість розповсюдження хвильоводних мод	5
6	Ознайомитись із описом багатошарового планарного хвильоводу (число шарів хвильоводу – два та більше)	5
7	Ознайомитись із обчисленням мод хвильоводів з градієнтною зміною показника заломлення	5
8	Ознайомитись із виведенням характеристичного рівняння хвильоводу прямокутного перерізу зі стінками з ідеальних провідників	5
9	Ознайомитись із відмінностями обчислень параметрів хвильоводних мод діелектричного хвильоводу прямокутного перерізу за методом наближених мод та за методом ефективного показника заломлення	5
10	Ознайомитись із виведенням характеристичного рівняння для хвильоводу круглого перерізу у наближенні геометричної оптики	5
11	Ознайомитись із виведенням характеристичного рівняння для хвильоводу круглого перерізу за допомогою рівнянь Максвелла у кругових циліндричних координатах	5
12	Ознайомитись з ефектами, пов'язаними з малими відхиленнями перерізу хвильоводу від круглої форми	5
13	Індивідуальне завдання (курсова робота)	20
	Разом	72

## 6. Індивідуальні завдання

№ з/п	Теми курсових робіт
1	Зсув Гуса–Хенхена: причини його виникнення та його вплив на параметри хвильоводних мод
2	Виведення характеристичного рівняння планарного прозорого діелектричного хвильоводу
3	Формули Френеля та їх вплив на характеристики хвильоводних мод
4	Зсув фази при повному внутрішньому відбиванні від діелектричних та металевих середовищ
5	Хвильоводне розповсюдження за рахунок чистого підсилення
6	Виведення характеристичного рівняння для мод хвильоводного середовища з параболічним розподілом показника заломлення
7	Метод ефективного показника заломлення при обчисленні параметрів мод хвильоводу прямокутного перерізу
8	Виведення характеристичного рівняння в порожнистих трубках круглого перерізу у наближенні геометричної оптики
9	Виведення характеристичного рівняння для хвильоводу круглого перерізу за допомогою рівнянь Максвелла у кругових циліндричних координатах
10	Особливості розповсюдження хвильоводних мод у хвильоводах еліптичного перерізу: еліптична каустика та промінь, що скаче

## 7. Методи навчання

1. Проведення лекційних занять
2. Виконання студентами лабораторних робіт
3. Самостійна робота студентів з вивчення додаткових матеріалів з курсу

## 8. Методи контролю

1. Поточний контроль при виконанні лабораторних робіт та захист робіт
2. Дві контрольні роботи на протязі семестру
3. Індивідуальне завдання: курсова робота
4. Екзамен

## 9. Схема нарахування балів

Поточний контроль, самостійна робота, індивідуальні завдання					Екзамен	Сума
Виконання лабораторних робіт	Контрольна робота №1	Контрольна робота №2	Індивідуальне завдання (курсва робота)	Разом		
40	5	5	10	60	40	100

Досягнення студентів з навчальної дисципліни «Хвильоводна оптика» оцінюються в балах, загальна сума яких становить 100. Вона складається з 60 балів, які студент може



отримати протягом семестру, та 40 балів, які може отримати при проходженні підсумкового контролю у вигляді екзамену.

Дисципліна «Хвилеводна оптика» складається з двох частин: теоретичної та експериментальної. Теоретична частина є курсом лекцій, засвоєння матеріалу яких перевіряється на протязі семестру шляхом проведення двох контрольних робіт та написання студентами курсових робіт. Кожна контрольна робота є тестом, який складається з 7 питань з 4 варіантами відповіді, і оцінюється у максимальні 5 балів, якщо усі відповіді правильні. Кожна помилкова відповідь знижує оцінку на 1 бал, до 0 при 0–2 правильних відповідей. Курсова робота є індивідуальним завданням, яке студент виконує на протязі семестру і надає для оцінювання перед екзаменом. Курсові роботи оцінюються за шкалою 0–10 балів виходячи з їх відповідності завданням і повноти виконання.

Експериментальна частина курсу є низкою з 10 лабораторних занять. За кожне лабораторне заняття студент може отримати при його проведенні 2 бали, та ще 2 бали пізніше, тобто 40 балів за усі лабораторні роботи. Ці 4 бали нараховуються: 1) 1 бал за знання матеріалу роботи при проведенні процедури допущення до роботи, 2) 1 бал за виконання експериментальної частини роботи, 3) 1 бал за виконання теоретичної частини роботи (обчислення, побудування графіків тощо) у строк до проведення екзамену, 4) 1 бал за успішний захист роботи у строк до проведення екзамену.

Екзамен проводиться у письмовому вигляді шляхом написання студентами відповідей на запитання екзаменаційного білету. Кожен білет містить два запитання. Відповідь на перше запитання оцінюється за шкалою 0–15 балів, відповідь на друге – за шкалою 0–25 балів. Тобто максимальною оцінкою за екзаменаційну роботу є 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

## 10. Рекомендована література

### Основна література

1. Adams M. J. An Introduction to Optical Waveguides. – Wiley, 1981. – 401 p.
2. Marcuse D. Theory of Dielectric Optical Waveguides. – Academic Press, New York, 1974. – 257 p.
3. Unger H.-G. Planar Optical Waveguides and Fibres. – Clarendon Press, 1977. – 751 p.

### Допоміжна література

1. Guided-Wave Optoelectronics / ed. Tamir T. – Springer Verlag, 1988. – 401 p.
2. Hansperger R. G. Integrated Optics: Theory and Technology. – Springer-Verlag, 1988. – 345 p.