

КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА

Фізичний факультет  
(назва факультету)

Кафедра ОПТИКИ

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Заступник декана  
з навчальної роботи  
Момот О.В.

« 31 » серпня 2023 року

**РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ**  
**Оптика хвилеводів**

для студентів

галузь знань **10 Природничі науки**  
(шифр і назва)  
спеціальність **104 Фізика та астрономія**  
(шифр і назва спеціальності)  
освітній рівень **магістр**  
(молодший бакалавр, бакалавр, магістр)  
освітня програма **Оптика, лазерна фізика**  
(назва освітньої програми)  
вид дисципліни **обов'язкова**

Форма навчання	<b>очна</b>
Навчальний рік	<b>2023/2024</b>
Семестр	<b>2</b>
Кількість кредитів ECTS	<b>6</b>
Мова викладання, навчання та оцінювання	<b>українська</b>
Форма заключного контролю	<b>екзамен</b>

Викладачі: **доцент Макаренко Олексій Володимирович**

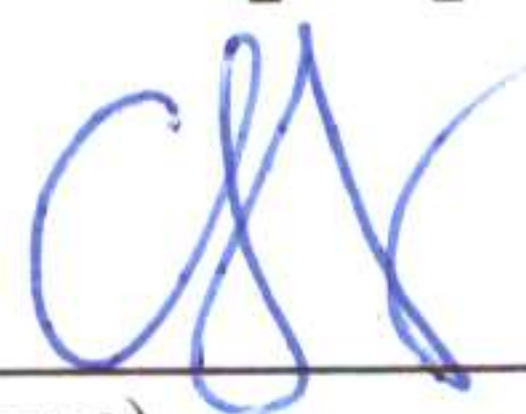
Пролонговано: на 2024/2025 н.р. (підпис, ПІБ, дата) «18» 06 2024 р.

на 2025/2026 н.р. (підпис, ПІБ, дата) «23» 08 2025 р.

КИЇВ – 2023

Розробник(и): Макаренко Олексій Володимирович, доктор фіз.-мат. наук., доцент, доцент кафедри оптики

ЗАТВЕРДЖЕНО  
В.о. зав. кафедри оптики

  
\_\_\_\_\_ (підпис) (Кондратенко С.В.)  
(прізвище та ініціали)

Протокол № 12 від « 16 » червня 2023 р.

Схвалено науково - методичною комісією фізичного факультету

Протокол від « 30 » червня 2023 року № 16

Голова науково-методичної комісії \_\_\_\_\_ (Оліх О.Я.)  
(підпис) (прізвище та ініціали)

## ВСТУП

**1. Мета дисципліни** – вивчення фізичних закономірностей поширення світла в світловодах та оптичних волокнах; фізичних принципів конструювання та роботи світлодіодів, лазерних діодів та фотодіодів, інтегрально-оптичних елементів та пристроїв; технологій виготовлення світлодіодів, лазерних діодів, фотодіодів, світловодів, оптичних волокон та методів вимірювання їх властивостей.

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

1. *Знати основи електродинаміки, основні поняття загального курсу оптики.*
2. *Вміти – змінювати амплітуду та фазу електромагнітної хвилі, вимірювати спектри випромінювання та поглинання, кутові залежності інтенсивності розсіяного випромінювання.*
3. *Володіти елементарними знаннями з математичного аналізу.*

### **3. Анотація навчальної дисципліни:**

“Оптика хвилеводів” включає вивчення розділів: волоконно-оптичні лінії зв’язку, двомірні планарні діелектричні світловоди, прямокутні світловоди, круглі циліндричні світловоди (оптичні волокна), фізичні принципи побудови волоконно-оптичних ліній зв’язку.

**4. Завдання (навчальні цілі):** – розуміння студентами фізичних основ та принципів роботи інтегрально-оптичних схем, оптичних ліній зв’язку, інтегрально- та волоконно-оптичних сенсорів. Вміння самостійно досліджувати інтегрально- та волоконно-оптичні елементи та проводити розрахунки світловодів, оптичних волокон та інтегрально-оптичних елементів. Знання технологій виготовлення світлодіодів, лазерних діодів, фотодіодів, світловодів, оптичних волокон та методів вимірювання їх характеристик.

Згідно вимог Стандарту вищої освіти України (другий (магістерський) рівень вищої освіти, галузь знань 10 «Природничі науки», спеціальність 104 «Фізика та астрономія», ОНП «Оптика, лазерна фізика» дисципліна забезпечує набуття здобувачами освіти наступних *компетентностей*:

#### **Інтегральних:**

Здатність розв’язувати складні задачі і проблеми дослідницького та інноваційного характеру у фізиці та астрономії.

#### **Загальних:**

- Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях (ЗК01);
- Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел (ЗК03);
- Здатність використовувати інформаційні та комунікаційні технології (ЗК05);
- Здатність проведення досліджень на відповідному рівні (ЗК07);
- Здатність бути критичним і самокритичним (ЗК08);

#### **Спеціальних:**

- Здатність використовувати закони та принципи фізики та астрономії у поєднанні із потрібними математичними інструментами для опису природних явищ (СК01);
- Здатність презентувати результати проведених досліджень, а також сучасні концепції у фізиці та астрономії фахівцям і нефахівцям (СК03);
- Здатність формулювати нові гіпотези та наукові задачі в області фізики та астрономії, вибирати відповідні методи для їх розв’язання, беручи до уваги наявні ресурси (СК08);
- Вміти використовувати методи чисельних та аналітичних розрахунків в оптиці (СК10);

## 5. Результати навчання за дисципліною:

Результат навчання (1. знати; 2. вміти; 3. комунікація; 4. автономність та відповідальність)		Методи викладання і навчання	Методи оцінювання та пороговий критерій оцінювання (за необхідності)	Відсоток у підсумковій оцінці з дисципліни
Код	Результат навчання			
1.1	Знати властивості світловодів, оптичних волокон, світлодіодів, лазерних діодів, фотодіодів; особливості роботи інтегрально-оптичних елементів та пристроїв; фізичні основи та принципи роботи світлодіодів, лазерних діодів, фотодіодів, оптичних ліній зв'язку, інтегрально-оптичних схем, волоконно-оптичних сенсорів.	Лекції та лабораторні, самостійна робота	Усне опитування в процесі лекції, перевірка рефератів та інших форм самостійної роботи, модульна контрольна робота	10
2.1	Самостійно досліджувати волоконно- та інтегрально-оптичні елементи; проводити розрахунки оптичних волокон, світловодів та інтегрально-оптичних елементів.	Лекції та лабораторні, самостійна робота	Захист лабораторних робіт. Опитування в процесі лекції, перевірка рефератів та інших форм самостійної роботи Модульна контрольна робота	10
2.2	Застосовувати в практичних роботах світлодіоди, лазерні діоди, фотодіоди, оптичні волокна, світловоди та інтегрально-оптичні елементи.	Лекції та лабораторні, самостійна робота	Захист лабораторних робіт. Опитування в процесі лекції, перевірка рефератів та інших форм самостійної роботи Модульна контрольна робота	10
4.1	Використовувати набуті навички на виробничих підприємствах та в лабораторіях науково-дослідних і навчальних установ.	Лабораторні, самостійна робота	Захист лабораторних робіт. Опитування в процесі лекції, перевірка рефератів та інших форм самостійної роботи Модульна контрольна робота	10

**6. Співвідношення результатів навчання дисципліни із програмними результатами навчання** (необов'язково для вибіркових дисциплін які не входять до блоків спеціалізації)

<b>Результати навчання дисципліни (код)</b>	<b>1.1</b>	<b>2.1</b>	<b>2.2</b>	<b>4.1</b>
<b>Програмні результати навчання (назва)</b>				
ПР02. Проводити експериментальні 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.	+	+	+	+
ПР04. Обирати і використовувати відповідні методи обробки та аналізу даних фізичних або астрономічних досліджень і оцінювання їх достовірності.		+		+
ПР05. Здійснювати феноменологічний та теоретичний опис досліджуваних фізичних або астрономічних явищ, об'єктів і процесів.	+			
ПР08. Презентувати результати досліджень у формі доповідей на семінарах, конференціях тощо, здійснювати професійний письмовий опис наукового дослідження, враховуючи вимоги, мету та цільову аудиторію.		+		
ПР12. Розробляти та застосовувати ефективні алгоритми та спеціалізоване програмне забезпечення для дослідження моделей фізичних та астрономічних об'єктів і процесів, обробки результатів експерименту спостережень.		+		+
ПР16. Брати продуктивну участь у виконанні експериментальних та теоретичних досліджень в області фізики та астрономії.	+	+		+
ПР17. Знати і розуміти фізичні основи функціонування оптичних пристроїв та систем.	+		+	+

**Структура курсу**

Курс складається з 2х змістовних модулів – Планарні світловоди (24 лекції 16 лабораторних занять) та Оптичні волокна та елементи інтегральних оптичних схем (20 лекцій і 16 лабораторних занять)

**7. Схема формування оцінки.**

**7.1 Форми оцінювання студентів:** (зазначається перелік видів робіт та форм їх контролю / оцінювання із зазначенням Min. – рубіжної та Max. кількості балів чи відсотків)

**- семестрове оцінювання:**

1. Модульна контрольна робота 1 (10 балів – 15 балів).
2. Захист лабораторних робіт 1, 2 (9 балів – 18 балів). П. 1 та п2. Формують загальну оцінку першого змістового модулю.
3. Модульна контрольна робота 2 (10 балів – 15 балів).
4. Захист лабораторних робіт 3, 4 (7 балів – 12 балів). П. 1 та п2. Формують загальну оцінку другого змістового модулю.

**- підсумкове оцінювання у формі екзамену**

**7.2. Підсумкове оцінювання у формі екзамену: (обов'язкове проведення екзаменаційного оцінювання в письмовій формі)**

	ЗМ1 Частина 1	ЗМ2 Частина 2	екзамен	Підсумкова оцінка
<i>Мінімум</i>	<b>19</b>	<b>17</b>	<b>24</b>	<b>60</b>
<b>Максимум</b>	<b>33</b>	<b>27</b>	<b>40</b>	<b>100</b>

у випадку комплексного екзамену слід вказати питому вагу складових

Студент не допускається до екзамену, якщо під час семестру набрав менше 36 балів.

**(слід чітко прописати умови, які висуваються викладачами даної дисципліни).**

Оцінка за екзамен не може бути меншою **24 балів** для отримання загальної позитивної оцінки за курс.

**7.3. Організація оцінювання:** (обов'язково зазначається порядок організації передбачених робочою навчальною програмою форм оцінювання із зазначенням, у тому числі, результатів навчання, опанування яких перевіряється конкретним оцінюванням).

**Шкала відповідності**

<b>Відмінно / Excellent</b>	90-100
<b>Добре / Good</b>	75-89
<b>Задовільно / Satisfactory</b>	60-74
<b>Незадовільно з можливістю повторного складання/ Fail</b>	35-59
<b>Незадовільно з обов'язковим повторним вивченням дисципліни / Fail</b>	0-34
<b>Зараховано / Passed</b>	60-100
<b>Не зараховано / Fail</b>	0-59

## 8. Структура навчальної дисципліни. Тематичний план лекцій і лабораторних занять

№ п/п	Номер і назва теми*	Кількість годин			
		лекції	лабораторні	практичні	Самостійна робота
<b>Змістовий модуль 1 Планарні світловоди</b>					
1	<b>Тема 1.</b> Основні етапи розвитку систем дистанційного оптичного зв'язку. Сучасні завдання волоконної та інтегральної оптики. Порівняння волоконно-оптичних ліній та оптичних інтегральних схем з радіоелектронними засобами зв'язку та обробки інформації. <b>с.р.с.</b> Вивчення матеріалу лекції.	2			5
2	<b>Тема 2.</b> Волоконно-оптичні лінії зв'язку. Затухання, інформаційна ємність та полоса пропускання волоконно-оптичних ліній зв'язку. Розмивання хвильового пакету та матеріальна дисперсія. Швидкість передачі інформації через волоконно-оптичні лінії зв'язку. <b>с.р.с.</b> Вивчення матеріалу лекції.	2			5
3	<b>Тема 3</b> Двовірний світловод з ідеально провідними межами. Променеве наближення. Відбивання плоских хвиль від поверхні ідеального металу. Модель зигзагоподібного поширення променів. Умова поперечного фазового синхронізму. ТЕ, ТМ та ТЕМ моди. Дисперсійне рівняння. Відсічка частоти. Поширення мод та одномодовий режим. <b>с.р.с.</b> Вивчення матеріалу лекції.	2			5
4	<b>Тема 4</b> Затухаючі моди. Критична довжина хвилі та фізичний зміст власних значень дисперсійного рівняння. Фазова та групова швидкості мод в світловоді. Хвилеводна дисперсія. <b>с.р.с.</b> Опрацювання матеріалу практичного заняття. Виконання лабораторної роботи «Вимірювання різниці зсувів Гуса-Хенхен для ТЕ та ТМ хвиль при відбиванні світла від діелектриків та металів еліпсометричним методом»		4	2	5
5	<b>Тема 5.</b> Електромагнітна теорія двовірних світловодів з ідеально провідними межами. Хвильове рівняння для поля в світловоді. Власні функції хвильового рівняння. Розподіл поля у світловоді для ТЕ та ТМ мод. Фізичний зміст модових індексів. Принципи нормування характеристик світловодів. Нормовані змінні. Дисперсійне рівняння в нормованих змінних. <b>с.р.с.</b> Вивчення матеріалу лекції.	2			5
6	<b>Тема 6.</b> Двовірні планарні діелектричні світловоди. Зсув фаз при повному відбиванні. Зсув Гуса-Хенхен. Променеве наближення. Умова поперечного фазового синхронізму. Дисперсійні рівняння для ТЕ та ТМ мод в асиметричних світловодах. Відсічка хвильового вектора, частоти відсічки мод. Поширення мод в діелектричних світловодах. Нульова мода, одномодовий режим, критична ширина. Розв'язки дисперсійного рівняння у випадку симетричних світловодів. Ефективна ширина асиметричних світловодів. Фазова та			2	5

	групова швидкості. <b>с.р.с.</b> Опрацювання матеріалу практичного заняття.				
7	<b>Тема 7.</b> Електромагнітна теорія двомірних діелектричних асиметричних світловодів. Хвильове рівняння для поля ТЕ мод в асиметричному світловоді. Потік енергії, локалізація мод. <b>с.р.с.</b> Вивчення матеріалу лекції.	2			5
8	<b>Тема 8.</b> Слабонаправляючі діелектричні світловоди. Дисперсійне рівняння в нормованих змінних. Нормована ефективна ширина. Фазова та групова швидкості в слабонаправляючих світловодах. Матеріальна, хвильоводна дисперсія та дисперсія профілю. Втрати в діелектричних світловодах. Практичне застосування планарних діелектричних світловодів. <b>с.р.с.</b> Опрацювання матеріалу практичного заняття.			2	5
9	<b>Тема 9.</b> Асиметричний світловод з металевим покриттям. Дисперсійні рівняння для ТЕ та ТМ мод у променевому наближенні. Дисперсійне рівняння у випадку слабонаправляючої діелектричної межі поділу. Критична товщина світловода для поширення ТЕ та ТМ мод. Поляритонна мода ТМо та дисперсійне рівняння для неї. Розподіл поля для ТЕ, ТМ та ТМо мод. Втрати в асиметричному світловоді з металевим покриттям. Модова та матеріальна частини поглинання. Затухання ТЕ та ТМ мод. <b>с.р.с.</b> Вивчення матеріалу лекції.	2			5
10	<b>Тема 10.</b> Симетричний світловод з реально металевими межами. Дисперсійне рівняння для ТЕ та ТМ мод у променевому наближенні. Поляритонні моди ТМо та ТМ1. Розподіл поля для ТЕ, ТМ, ТМо та ТМ1 мод. Затухання в симетричних світловодах з реально металевими межами. Інтегрально-оптичні елементи на основі світловодів з металевим покриттям. <b>с.р.с.</b> Вивчення матеріалу лекції. Виконання лабораторної роботи «Зв'язок оптичного волоконного світловода з лазером за допомогою призми для мод різної поляризації в світловоді»	2	4		5
11	<b>Тема 11.</b> Двомірне середовище з параболічним профілем показника заломлення. Рівняння траєкторії променів. Параксіальне наближення. Фокуруючі властивості. Зсув фази на каустиці. Дисперсійне рівняння у променевому наближенні. Фазова та групова швидкості. Хвильове рівняння для двомірного параболічного середовища. Розподіл поля та дисперсійні рівняння для ТЕ та ТМ мод у хвильовій теорії. Розходження між променевим наближенням та хвильовою теорією. <b>с.р.с.</b> Опрацювання матеріалу практичного заняття.			2	5
12	<b>Тема 12.</b> Експоненційні профілі показника заломлення: різко асиметричний та симетричний. Траєкторія променів, фокууючі властивості, дисперсійне рівняння. Профіль Епштейна – бездисперсійний профіль показника заломлення. Траєкторія променів, фокууючі властивості, дисперсійне рівняння. Застосування градієнтних	2			5

	планарних світловодів в інтегральних оптичних схемах. <b>с.р.с.</b> Вивчення матеріалу лекції.				
	<i>Підсумкова модульна контрольна робота 1</i>				
<b>Змістовий модуль 2 <i>Оптичні волокна та елементи інтегральних оптичних схем</i></b>					
13	<b>Тема 13.</b> Умова поперечного фазового синхронізму. Дисперсійне рівняння (променеве наближення). Круглі металеві труби. TE та TM моди труби з ідеального металу. Поширення мод у світловоді. Фізичний зміст індексів мод. <b>с.р.с.</b> Опрацювання матеріалу практичного заняття.			2	5
14	<b>Тема 14</b> Принципи нормування змінних. Дисперсійне рівняння в нормованих змінних (променеве наближення). Хвильове рівняння в циліндричних координатах. Розв'язки рівняння, поле у металевій трубі. Дисперсійне рівняння (хвильове наближення), частоти відсічки, розходження з променевим наближенням. <b>с.р.с.</b> Вивчення матеріалу лекції.	2			5
15	<b>Тема 15</b> Круглі діелектричні волокна. Хвильове рівняння. HE та EH моди волокна. Поширення HE, EH, TE та TM мод. Поле у волокні. Дисперсійне рівняння (хвильове наближення). Відсічка хвильового вектора. Одномодовий режим, мода HE <sub>11</sub> . Розходження між променевим та хвильовим наближеннями. <b>с.р.с.</b> Опрацювання матеріалу практичного заняття.			2	5
16	<b>Тема 16</b> Слабонаправляючі діелектричні волокна. LP моди, дисперсійне рівняння (променеве наближення). Класифікація мод. Поля TE, TM, HE, EH, LP мод у волокні. Градієнтні діелектричні волокна. Застосування діелектричних волокон у лініях зв'язку. <b>с.р.с.</b> Вивчення матеріалу лекції. Виконання лабораторної роботи «Дослідження діаграми напрямленості та спектрального розподілу енергії випромінювання світлодіоду»	2	4		5
17	<b>Тема 17.</b> Сучасні технології виготовлення планарних та канальних світловодів, оптичних волокон та джгутів, градієнтних волокон для дальнього оптичного зв'язку. Експериментальні методи дослідження оптичних властивостей світловодів та волокон. Втрати на поверхні волокон та на закругленнях. <b>с.р.с.</b> Опрацювання матеріалу практичного заняття.			3	5
18	<b>Тема 18.</b> Зв'язані моди світловодів. Світловодні розгалужувачі, мультиплексори, послаблювачі, подільники випромінювання. Елементи вводу та виводу випромінювання у світловодах. Призмові та дифракційні елементи зв'язку. Оптичні з'єднання та оптичні роз'єми. <b>с.р.с.</b> Вивчення матеріалу лекції. Виконання лабораторної роботи «Дослідження ефекту Фарадея та роботи магнітооптичного модулятора»	2	2		5

19	<b>Тема 19.</b> Електрооптичні модулятори та перемикачі. Акустооптичні модулятори та перемикачі. Основні принципи випромінювання світла у напівпровідниках. Світлодіоди. <b>с.р.с.</b> Вивчення матеріалу лекції.	2			5
20	<b>Тема 20.</b> Напівпровідникові лазери. Гетероструктурні напівпровідникові лазери. Лазери з розподіленим зворотнім зв'язком та дзеркалами Бреґґа. Технологія виготовлення напівпровідникових світлодіодів та лазерів. <b>с.р.с.</b> Вивчення матеріалу лекції.	2			5
21	<b>Тема 21</b> Волоконно-оптичні сенсори з волокном у ролі лінії передачі. Волоконно-оптичні сенсори з волокном у ролі чутливого елемента. Одномодові волокна із збереженням поляризації. Фазова чутливість волокна. Волоконно-оптичні поляризатори та регулятори поляризації. Інтерференційні схеми волоконно-оптичних сенсорів. Гомодинна та гетеродинна ресстрація сигналу. Сенсори на основі втрат у волокні. Сенсори розподілу. <b>с.р.с.</b> Вивчення матеріалу лекції.	2			10
22	<b>Тема 22.</b> Застосування інтегральних оптичних схем. Інтегрально-оптичні спектроаналізатори, мультиплексори, бістабільні елементи, процесори, адаптивні системи. Перспективи розвитку інтегральної оптики та оптичного зв'язку. <b>с.р.с.</b> Вивчення матеріалу лекції.	2			11
	<i>Підсумкова модульна контрольна робота 2</i>				
	<b>ВСЬОГО<sup>1</sup></b>	<b>30</b>	<b>14<sup>2</sup></b>	<b>15</b>	<b>120</b>

\*Примітка: слід зазначити також теми, винесені на самостійне вивчення

**Загальний обсяг 180 год.<sup>3</sup>**, в тому числі (вибрати необхідне):

Лекцій – **30 год.**

Лабораторні заняття - **14 год.**

Практичні заняття - **15 год.**

Самостійна робота – **121 год.**

## 9. Рекомендована література:

### Основна

1. О.В.Макаренко, Л.Й. Робур «Волоконна та інтегральна оптика», К.: ТОВ «НВП Інтерсервіс», 2014, 156с.
2. Л.Й. Робур, І.А.Шайкевич «Інтегральна та волоконна оптика. Лабораторний практикум», К.: ДП «Інформаційно-аналітичне агенство», 2009, 35с.
3. John Crisp Introduction to Fiber Optics 3rd Edition, ISBN-13 978-0750667562
4. John A. Buck, Fundamentals of Optical Fibers, ISBN: 9780471221913

<sup>1</sup> У робочій програмі навчальної дисципліни для лекційних, семінарських, практичних і лабораторних занять зазначається *реальна* кількість годин (*кратне 2 год. – час тривалості пари*).

<sup>2</sup> У робочій програмі навчальної дисципліни зазначається *реальна* кількість годин (*кратне 2 год. – час тривалості пари*).

<sup>3</sup> **Загальна кількість годин, відведених на дану дисципліну згідно навчального плану.**

*Додаткова*

6. Кучеренко О.К. Волоконна та інтегральна оптика. Навчальний посібник.-Київ.:НТУУ «КПІ ім. І. Сікорського», 2017.- 216 с.

7. Senior, John M. Optical Fiber Communications: Principles and Practice (Second Edition) Prentice Hall International: Series in Optoelectronics 1992

8. Wilson, J. and Hankes, J.F.B. Lasers: Principles and Application Prentice Hall International: Series in Optoelectronics 1992

9. Wilson, J. and Hankes, J.F.B. Optoelectronics: An Introduction (Second Edition) Prentice Hall International: Series in Optoelectronics 1992

10. Murata, Hiroshi Handbook of Optical Fibres and Cables. Marcel Dekker Inc. 1996

11. Optical Fiber Technology

<http://www.idealibrary.com/cgi-bin/links/toc/ofte>

<http://www.alcatel.ru/news/pr/2000/11/30/268.html>

12. Grande Communications

<http://www.alcatel.ru/news/pr/2001/2/22/1042.html>

13. Application of Fibre Optics

<http://www.spie.org/web/meetings/calls/pe99/confs/VV08.html>