

Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича  
Інститут фізико-технічних та комп'ютерних наук  
Кафедра кореляційної оптики

 **«ЗАТВЕРДЖУЮ»**  
Директор Інституту ФТКН  
\_\_\_\_\_ Ангельський О.В.  
«21» серпня 2020 року

**РОБОЧА ПРОГРАМА**  
**навчальної дисципліни**  
**«МЕТОДИ ТОПОЛОГІЇ В ОПТИЦІ»**  
вибіркова дисципліна

Освітньо-наукова програма – «Фізика і астрономія»  
Спеціальність – № 104 «Фізика і астрономія»  
Галузь знань – № 10 «Природничі науки»  
Рівень вищої освіти – третій (освітньо-науковий)  
Інститут фізико-технічних та комп'ютерних наук  
Мова навчання – українська, англійська

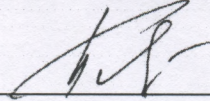
Чернівці 2020



Робоча програма навчальної дисципліни «**Методи топології в оптиці**» складена відповідно до вимог її змісту (Ліцензійні умови провадження освітньої діяльності 2016 р.) та відповідає освітньо-науковій програмі «Фізика та астрономія» спеціальності 104 «Фізика та астрономія» галузь знань: 10 «Природничі науки».

Розробник – професор кафедри кореляційної оптики, професор доктор фіз-мат наук Мохунь І.І.

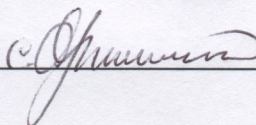
Робоча програма затверджена на засіданні кафедри кореляційної оптики  
Протокол № 1 від «24» серпня 2019 року

Завідувач кафедри  (Максимьяк П.П.)

**Схвалено**

Методичною радою ІФТКН

Протокол № 1 від «31» серпня 2019 року

Голова методичної ради ІФТКН  (Струк Я.М.)



[illegible]

|                                                                                                                                        |     |    |  |  |  |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|----|--|--|--|----|
| <b>Тема 1.</b> Основні поняття скалярної сингулярної оптики. Закон збереження топологічного заряду.                                    | 10  | 3  |  |  |  | 8  |
| <b>Тема 2.</b> Ідентифікація та генерація вихорів.                                                                                     | 10  | 2  |  |  |  | 8  |
| <b>Тема 3.</b> Вихорі скалярного поля і його фазова структура.                                                                         | 10  | 3  |  |  |  | 8  |
| <b>Тема 4.</b> Народження вихорів.                                                                                                     | 10  | 2  |  |  |  | 6  |
| Разом за змістовим модулем 1                                                                                                           | 40  | 10 |  |  |  | 30 |
| <b>Змістовий модуль 2. Вихорі у випадкових полях</b>                                                                                   |     |    |  |  |  |    |
| <b>Тема 5.</b> Топологічні індекси поля інтенсивностей.                                                                                | 10  | 3  |  |  |  | 6  |
| <b>Тема 6.</b> Відновлення фази поля на основі аналізу вихрових мереж.                                                                 | 10  | 3  |  |  |  | 8  |
| <b>Тема 7.</b> Визначення знаків вихорів випадкового поля.                                                                             | 10  | 2  |  |  |  | 8  |
| <b>Тема 8.</b> Реалізація сингулярних моделей. Структурна стабільність. Генерісіті.                                                    | 10  | 2  |  |  |  | 8  |
| Разом за змістовим модулем 2                                                                                                           | 40  | 10 |  |  |  | 30 |
| <b>Змістовий модуль 3. Поляризаційні сингулярності</b>                                                                                 |     |    |  |  |  |    |
| <b>Тема 9.</b> Поляризаційні сингулярності.                                                                                            | 10  | 2  |  |  |  | 8  |
| <b>Тема 10.</b> Методи досліджень поляризаційних сингулярностей.                                                                       | 10  | 3  |  |  |  | 8  |
| <b>Тема 11.</b> «Антікореляція» між інтенсивністю і поляризацією векторного поля.                                                      | 10  | 3  |  |  |  | 6  |
| <b>Тема 12.</b> Елементарні поляризаційні структури. Сингулярна структура векторного поля і усереднені характеристики векторного поля. | 10  | 2  |  |  |  | 8  |
| Разом за змістовим модулем 3                                                                                                           | 40  | 10 |  |  |  | 30 |
| Усього годин                                                                                                                           | 120 | 30 |  |  |  | 90 |

### 3.2. Зміст навчальної дисципліни

**Тема 1.** Основні поняття скалярної сингулярної оптики. Закон збереження топологічного заряду. Фазові вихорі. Топологічний заряд і топологічний індекс особливих точок. Закон збереження топологічного заряду. Елементарні топологічні реакції.

**Тема 2.** Ідентифікація та генерація вихорів.

Експериментальне спостереження і ідентифікація вихрів скалярного поля. Генерація вихрів за допомогою синтезованих голограм.

**Тема 3.** Вихорі скалярного поля і його фазова структура.

Знаковий принцип. Фазові спекли. «Дихання» фазових спеклів. Фізична реалізуємість (генеріситі) і структурна стабільність дефектів поля.

**Тема 4.** Народження вихорів

Народження вихорів. Виникнення дислокацій хвильового фронту внаслідок інтерференції хвильових фронтів з простими фазовими поверхнями. Топологічні індекси поля інтенсивностей.

**Тема 5.** Топологічні індекси поля інтенсивностей.

Екстремуми фази і інтенсивності, «антікореляція» фази і інтенсивності. Мережі вихорів – скелетон фази скалярного поля. Відновлення фази поля на основі «зсунутих» «мереж нулів».

**Тема 6.** Відновлення фази поля на основі аналізу вихрових мереж.

Відновлення зображення регулярною вибіркою, яка отримана на основі аналізу параметрів вихрів випадкового поля.

**Тема 7.** Визначення знаків вихорів випадкового поля.

Визначення знаків вихорів випадкового поля. Експериментальне визначення знаків нульовий спекл-поля на основі аналізу інтерферограм зсуву.

**Тема 8.** Реалізація сингулярних моделей. Структурна стабільність. Генеріситі.

Реалізація сингулярних моделей. «Абсолютні» («стаціонарні») нулі інтенсивності. «Абсолютний» нуль інтенсивності як модель оптичної сингулярності.

**Тема 9.** Поляризаційні сингулярності.

Поляризаційна модуляція поля в околі «абсолютного» нуля амплітуд. Дисклінації. Поляризаційні сингулярності.

**Тема 10.** Методи досліджень поляризаційних сингулярностей.

Вихорі різниці фаз. Знаковий принцип для векторного поля. Принципи вихрового аналізу векторних полів. Вихорі ортогонально-поляризованих компонент. Методи досліджень поляризаційних сингулярностей. Вихорі ортогональних лінійно-поляризованих компонент і дисклінації. Експериментальне визначення характеристик s-контурів. С-точки як вихорі різниці фаз.

**Тема 11.** «Антікореляція» між інтенсивністю і поляризацією векторного поля.

«Антікореляція» між інтенсивністю і поляризацією векторного поля. Зв'язок між вихорами компонент и С-точками. Тонка структура неоднорідного векторного поля і його усереднені поляризаційні характеристики. Усереднені параметри Стокса. Аналіз усереднених параметрів при розкладі поля на лінійно-поляризовані компоненти. Комп'ютерне моделювання параметрів векторного поля. Аналіз усереднених параметрів при циркулярному базисі розкладу поля. «Стокс-формалізм» поляризаційних сингулярностей. «Стокс-вихорі».

**Тема 12.** Елементарні поляризаційні структури. Сингулярна структура векторного поля і усереднені характеристики векторного поля.

Поляризаційні структури, отримані в результаті інтерференції лінійно-поляризованих пучків. Елементарні поляризаційні сингулярності, отримані в результаті інтерференції циркулярно-поляризованих пучків. Створення елементарних поляризаційних структур за рахунок інтерференції гладких, ортогонально поляризованих хвиль. Експериментальне моделювання елементарних поляризаційних сингулярностей.

3.3. Теми семінарських занять  
Семінарські заняття непередбачені

3.4. Теми практичних занять  
Практичні заняття непередбачені

3.5. Теми лабораторних занять  
Лабораторні заняття непередбачені

3.6. Тематика індивідуальних завдань  
Індивідуальні заняття непередбачені

3.7. Самостійна робота

| № з/п | Назва теми                                                                                               |
|-------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1     | Сингулярності вектора Умова-Пойнтінга (П-сингулярності) і структура оптичних полів                       |
| 2     | Миттєві сингулярності скалярного поля. Усереднені сингулярності вектора Умова-Пойнтінга скалярного поля. |
| 3     | Сингулярності вектора Умова-Пойнтінга у векторних полях. Миттєві сингулярності векторного поля.          |
| 4     | Гаусова оптична пастка.                                                                                  |
| 5     | Вихрова оптична пастка.                                                                                  |
| 6     | Оптичні пінцети. Типи оптичних пасток.                                                                   |
| 7     | Орбітальний та спіновий моменти імпульсу поля.                                                           |

\* Самостійна робота аспірантів складається з підготовки до лекційних занять, опрацювання лекційного матеріалу, що становить 100% від аудиторного навантаження (30 годин) та опанування тем, визначених для самостійного вивчення (60 годин).

#### 4. Критерії оцінювання результатів навчання з навчальної дисципліни

Шкала оцінювання: національна та ЄКТС

| Оцінка за національною шкалою | Оцінка за шкалою ECTS |                                                     |
|-------------------------------|-----------------------|-----------------------------------------------------|
|                               | Оцінка (бали)         | Пояснення за розширеною шкалою                      |
| Відмінно                      | A (90-100)            | відмінно                                            |
| Добре                         | B (80-89)             | дуже добре                                          |
|                               | C (70-79)             | добре                                               |
| Задовільно                    | D (60-69)             | задовільно                                          |
|                               | E (50-59)             | достатньо                                           |
| Незадовільно                  | FX (35-49)            | (незадовільно)<br>з можливістю повторного складання |
|                               | F (1-34)              | (незадовільно)<br>з обов'язковим повторним курсом   |

#### 5. Засоби оцінювання

Опитування на лекціях, поточні та підсумкові (модульні) контрольні роботи, тестування, опитування на екзамені.

##### 5.1. Розподіл балів, які отримують аспіранти

| Поточне тестування та самостійна робота |    |    |    |                    |    |    |    |                    |     |     |     | Підсумковий тест (іспит) | Сума |
|-----------------------------------------|----|----|----|--------------------|----|----|----|--------------------|-----|-----|-----|--------------------------|------|
| Змістовий модуль 1                      |    |    |    | Змістовий модуль 2 |    |    |    | Змістовий модуль 3 |     |     |     | 40                       | 100  |
| T1                                      | T2 | T3 | T4 | T5                 | T6 | T7 | T8 | T9                 | T10 | T11 | T12 |                          |      |
| 5                                       | 5  | 5  | 5  | 5                  | 5  | 5  | 5  | 5                  | 5   | 5   | 5   |                          |      |

### 5.2. Питання, які виносяться на іспит

1. Фазові вихорі. Визначення. Типи вихорів.
2. Топологічний заряд і топологічний індекс особливих точок.
3. Закон збереження топологічного заряду. Елементарні топологічні реакції.
4. Експериментальне спостереження і ідентифікація вихрів скалярного поля.
5. Генерація вихорів за допомогою синтезованих голограм.
6. Знаковий принцип для скалярного поля.
7. Фізична реалізуємість (генеріситі) і структурна стабільність дефектів поля. Народження вихорів.
8. Виникнення дислокацій хвильового фронту внаслідок інтерференції хвильових фронтів з простими фазовими поверхнями.
9. Топологічні індекси поля інтенсивностей. Екстремуми фази і інтенсивності
10. «Антикореляція» фази і інтенсивності.
11. Визначення знаків вихорів випадкового поля.
12. Реалізація сингулярних моделей. «Абсолютні» («стаціонарні») нулі інтенсивності.
13. Поляризаційна модуляція поля в околі «абсолютного» нуля амплітуд.
14. Дисклінації. Поляризаційні сингулярності.
15. Вихорі різниці фаз. Знаковий принцип для векторного поля.
16. Методи досліджень поляризаційних сингулярностей.
17. Експериментальне визначення характеристик s-контурів.
18. С-точки як вихорі різниці фаз.
19. «Антикореляція» між інтенсивністю і поляризацією векторного поля.
20. Зв'язок між вихорами компонент и С-точками.
21. Поляризаційні структури, отримані в результаті інтерференції лінійно-поляризованих пучків. Елементарні поляризаційні сингулярності, отримані в результаті інтерференції циркулярно-поляризованих пучків.
22. Тонка структура неоднорідного векторного поля і його усереднені поляризаційні характеристики. «Стокс-формалізм» поляризаційних сингулярностей. «Стокс-вихорі».
23. Компоненти вектора Умова-Пойнтінга.
24. Сингулярності вектора Умова-Пойнтінга в скалярних полях. Миттеві та усереднені сингулярності скалярного поля.
25. Сингулярності вектора Умова-Пойнтінга у векторних полях. Миттеві та усереднені сингулярності векторного поля.

### 5.3. Критерії оцінки усної або письмової відповіді аспірантів

| Кількість балів | Критерій оцінки                                                                                                                                                                                             |
|-----------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1.6-2           | Аспірант дає повну і точну відповідь на поставлене запитання або бере активну участь в обговоренні усіх питань теми і суттєво доповнює відповіді своїх товаришів.                                           |
| 1-1.5           | Студент при відповіді на питання припускається незначних неточностей, які не впливають на суть відповіді або правильно доповнює відповіді своїх товаришів на 50% питань теми.                               |
| 0.6-0.9         | Аспірант при відповіді на питання припускається незначних помилок, які виправляє за допомогою викладача не впливають на суть відповіді або правильно доповнює відповіді своїх товаришів на 30% питань теми. |
| 0.1-0.5         | Аспірант за допомогою викладача фрагментарно відповідає на запитання, проте не в повній мірі володіє мінімальним рівнем знань з даного питання                                                              |
| 0               | Аспірант не відповідає на поставлене запитання і не бере участі в обговоренні питань теми.                                                                                                                  |

#### 5.4. Запитання для модульного контролю з лекційного курсу

##### Модуль 1

1. Фазові вихорі. Визначення. Типи вихорів.
2. Топологічний заряд і топологічний індекс особливих точок.
3. Закон збереження топологічного заряду. Елементарні топологічні реакції.
4. Експериментальне спостереження і ідентифікація вихорів скалярного поля.
5. Генерація вихорів за допомогою синтезованих голограм.
6. Знаковий принцип для скалярного поля.
7. Фізична реалізуємість (генеріситі) і структурна стабільність дефектів поля. Народження вихорів.
8. Виникнення дислокацій хвильового фронту внаслідок інтерференції хвильових фронтів з простими фазовими поверхнями.

##### Модуль 2

1. Топологічні індекси поля інтенсивностей. Екстремуми фази і інтенсивності.
2. «Антикореляція» фази і інтенсивності.
3. Визначення знаків вихорів випадкового поля.
4. Реалізація сингулярних моделей. «Абсолютні» («стаціонарні») нулі інтенсивності.
5. Поляризаційна модуляція поля в околі «абсолютного» нуля амплітуд.
6. Дисклінації. Поляризаційні сингулярності.
7. Вихорі різниці фаз. Знаковий принцип для векторного поля.
8. Методи досліджень поляризаційних сингулярностей.

##### Модуль 3

1. Експериментальне визначення характеристик s-контурів.
2. С-точки як вихорі різниці фаз.
3. «Антикореляція» між інтенсивністю і поляризацією векторного поля.
4. Зв'язок між вихорами компонент и С-точками.
5. Поляризаційні структури, отримані в результаті інтерференції лінійно-поляризованих пучків. Елементарні поляризаційні сингулярності, отримані в результаті інтерференції циркулярно-поляризованих пучків.
6. Тонка структура неоднорідного векторного поля і його усереднені поляризаційні характеристики. «Стокс-формалізм» поляризаційних сингулярностей. «Стокс-вихорі».

#### 7. Рекомендована література

##### 7.1. Базова

1. Мохунь І.І., Вікторовська Ю.Ю. Вступ до лінійної сингулярної оптики. Чернівці: Рута, 2012. – 189 с
2. J. F. Nye, *Natural focusing and fine structure of light* (Institute of Physics Publishing, Bristol and Philadelphia, 1999). (2 прим. та електронна версія, виставлена в локальній мережі ІТФ).
3. И.И. Мохунь, *Введение в линейную сингулярную оптику*. Електронна версія підготовленої до друку монографії, яка виставлена в мережі ІТФ.
4. I.I.Mokhun. *Introduction to linear singular optics*, Chapter 1 in the book *Optical correlation techniques and applications*, edited by O.V.Angelsky. – 2007. – SPIE press, Bellingham, Washington, USA.
5. M. Soskin and M. Vasnetsov, *Singular Optics as a New Chapter of Modern Photonics: Optical Vortices Fundamentals and Applications*, Photonics Sci. News, 4, is 4 (1999) 21.
6. Подборки статей з сингулярної оптики.

##### 7.2. Допоміжна

1. Аззам Р., Башар Н. Эллипсометрия и поляризованный свет. Пер. с англ. – М.: Мир. – 1981. – 583 с.
2. Справочник по специальным функциям. Под ред. М.Абромовица и И.Стиган. Пер. с англ. – М., Наука. – 1979. – 832 с.
3. Рытов С.М., Кравцов Ю.А., Татарский В.И. Введение в статистическую радиофизику. Часть II. Случайные поля. – М.: Наука. – 1978. – 463 С.
4. Франсон М. Оптика спеклов. Пер. с франц. под ред. Островского Ю.И. – М.: Мир. 1982. – 182 С.
5. Гудмен Дж. Статистическая оптика: Пер. с англ. под ред. Скроцкого Г.В. – М., Мир. – 1988. – 528 с.
6. Борн М., Вольф Э. Основы оптики. Пер. с англ. – М.: Наука. – 1973. – 719 с. (10 прим.).

#### 8. Інформаційні ресурси

1. Мохунь І.І., Вікторовська Ю.Ю. Вступ до лінійної сингулярної оптики. Чернівці: Рута, 2012. – 189 с. (Цифровий університет. ЧНУ)