

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

СИЛАБУС
НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ
“СИНГУЛЯРНА ОПТИКА”
обов'язкова дисципліна

Освітньо-професійна програма – Фотоніка: комп'ютерні оптичні системи
Спеціальність – № 152 Метрологія та інформаційно-вимірвальна техніка
Галузь знань – №15 Автоматизація та приладобудування
Рівень вищої освіти – другий
Інститут фізико-технічних та комп'ютерних наук
Мова навчання – українська, англійська
Розробник – професор кафедри кореляційної оптики, професор доктор фіз-мат наук Мохунь І.І.
Профайл викладача – <http://ptcsi.chnu.edu.ua/teachers/мохунь-ігор-іванович/>
Контактний тел. – 0972193715
E-mail – i.mokhun@chnu.edu.ua
Сторінка курсу в Moodle – <https://moodle.chnu.edu.ua/course/view.php?id=833>
Консультації: онлайн-консультації, понеділок з 14.00 до 15.00.

Анотація

Метою курсу є знайомство студента з новим напрямком сучасної оптики – сингулярною оптикою, прикладами пристроїв нового типу, побудованих на основі алгоритмів сингулярної оптики, алгоритмами відновлення характеристик поля за мережами точкових сингулярностей, освоєння методів топології при дослідженні структури оптичного поля.

Курс є одним з завершальних курсів підготовки фахівця спеціальності “Лазери та оптоелектронна техніка”.

Завдання: В результаті вивчення курсу студент повинен:

Знати:

- теоретичні основи та підходи сингулярної оптики (СО);
- принципи побудови та дослідження сингулярних структур скалярного та векторного оптичних полів;
- принципи вимірювання характеристик сингулярних структур;
- методи синтезу сингулярних структур скалярного і векторного поля;
- принципи практичного застосування алгоритмів СО, та принципи розробки пристроїв на основі СО;

Вміти:

- провести сингулярний аналіз оптичного поля;
- за допомогою засобів голографії та інтерферометрії синтезувати сингулярні структури довільного типу;
- на основі штучних оптичних сингулярностей формувати системи СО різного призначення.

Змістовні модулі: *Основні поняття сингулярної оптики (СО)*. Концепція СО. Основні поняття елементарної топології. Особливі точки. Закон збереження топологічних зарядів та індексів. Мережі сингулярних та стаціонарних точок, зв'язок між їх елементами *Сингулярності в скалярних полях*. Ізольовані сингулярності. Ізотропний та анізотропний вихорі. Розповсюдження сингулярних структур. Інтерференційні картини сингулярних структур. Генерація оптичних вихорів за допомогою синтезованих голограм. Утворення вихорів в наслідок інтерференції невеликої кількості пучків. Народження та анігіляція вихорів. Топологічні реакції. Пристрої для керування мікрооб'єктами. Оптичні пінцети та молекулярні мотори. Знаковий принцип. Тонка структура поля та мережі сингулярностей. Зв'язок між характеристиками скалярного поля. Застосування принципів СО для розв'язку фазової проблеми. *Сингулярності в векторних полях*. Параксіальний випадок. Дисклінації. Поляризаційні сингулярності (ПС). S- та C-сингулярності. Сингулярний скелетон векторного поля. Топологічні характеристики поляризаційних сингулярностей. Зв'язок між характеристиками ПС та вихорами ортогональних компонент. Методи експериментального дослідження сингулярностей векторного поля. Вихорі різниці фаз. Мережі ПС. Знаковий принцип для векторного поля. Створення штучних поляризаційних сингулярностей. Самозвідні оптичні пастки. Моменти в околі поляризаційних сингулярностей. Зв'язок між характеристиками векторного поля. Стокс-формалізм для поляризаційних сингулярностей. Вихорі Пуанкаре. Зв'язок між тонкою структурою поля та його інтегральними характеристиками. Тримірні поляризаційні сингулярності. Постановка проблеми. Тримірні поляризаційні сингулярності. Топологічні характеристики. Різниця між параксіальним та загальним випадками. *Сингулярності у хвильовій та нелінійній оптиці*. Сингулярності у світловодах. Темні солітони. Розповсюдження сингулярних структур у нелінійних середовищах *Проблеми та перспективи СО*.

1. Мета: метою курсу є знайомство студента з новим напрямком сучасної оптики – сингулярною оптикою, прикладами пристроїв нового типу, побудованих на основі алгоритмів сингулярної оптики, алгоритмами відновлення характеристик поля за мережами точкових сингулярностей, освоєння методів топології при дослідженні структури оптичного поля.

Курс є одним з завершальних курсів підготовки фахівця зі спеціальності «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка».

Вивчення даної дисципліни сприятиме набуттю наступних компетентностей, визначених Освітньо-науковою програмою:

- **ІК** – здатність розв'язувати складні задачі і проблеми під час професійної діяльності у галузі оптики та оптичної обробки інформації й у суміжних областях (приладобудування, нанофізика, оптичний зв'язок, біомедична оптика, екологія тощо) або у процесі навчання за програмами вищого рівня, що

передбачає проведення досліджень та/або здійснення інновацій та характеризується невизначеністю умов і вимог;

- **ЗК1** – Знання спеціальних розділів фундаментальних дисциплін, у обсязі, необхідному для освоєння професійно-орієнтованих дисциплін;
- **ЗК2** – здатність до аналізу та синтезу;
- **ЗК3** – здатність здійснювати пошук, аналізувати й критично оцінювати інформацію з різних джерел;
- **ЗК7** – креативність, здатність до системного мислення;
- **ФК1** – розуміння тенденцій розвитку й сутності актуальних новітніх розробок в області вчення про світло та його застосувань для розв'язання нагальних глобальних проблем (інформатизація, безпекова сфера, нанотехнології, екологія, біомедицина);
- **ФК2** – знання і розуміння наукових понять, теорій та методів, необхідних для розв'язання задач високотехнологічних галузей приладо- і машинобудування;
- **ФК6** – здатність застосовувати професійно-профільовані знання й практичні навички для створення нових та при обслуговуванні існуючих оптичних і оптико-електронних систем та їх складових;
- **ФК9** – здатність застосовувати аналітичні методи, математичне та комп'ютерне моделювання й виконувати фізичні та математичні експерименти для розв'язання інженерних завдань та при проведенні наукових досліджень;
- **ФК12** – здатність аргументувати вибір методу розв'язування спеціалізованої задачі, критично оцінювати отримані результати та захищати прийняті рішення.

2. Результати навчання:

У результаті вивчення даної дисципліни студент має

Знати:

- **ЗН1** – здатність продемонструвати знання і розуміння математичних методів та фізичних принципів, необхідних для розв'язування інженерних задач й виконання досліджень в області оптики та її застосувань;
- **ЗН2** – здатність продемонструвати знання сучасного стану досліджень, тенденцій розвитку, найбільш важливих розробок та новітніх технологій у галузі оптики;
- **ЗН3** – здатність продемонструвати поглиблені знання в обраній спеціалізації, включаючи знайомство з новітніми публікаціями у міжнародних періодичних фахових виданнях;

Уміти:

- **УМ1** – обирати адекватні методи аналізу й моделювати явища та процеси в динамічних системах, а також аналізувати отримані результати;
- **УМ3** – застосовувати отримані знання й практичні навички, адаптувати результати наукових досліджень при створенні нових та експлуатації існуючих оптичних та оптико-електронних комп'ютеризованих систем та їх складових;
- **УМ4** – застосовувати набуті знання і розуміння для розв'язування задач синтезу та аналізу елементів та систем, характерних обраній спеціалізації;
- **УМ5** – здійснювати пошук, аналізувати і критично оцінювати інформацію з різних джерел;
- **УМ9** – критично аналізувати основні показники функціонування системи й оцінювати використані технічні рішення та обладнання;
- **УМ11** – самостійно спроектувати систему та її елементи з урахуванням усіх аспектів поставленої задачі;
- **УМ12** – оцінювати доцільність та можливість застосування нових методів і технологій в задачах синтезу оптичних та оптико-електронних систем;
- **Ком1** – уміння ефективно спілкуватись на професійному та соціальному рівнях, включаючи усну й письмову комунікацію іноземною мовою;
- **Ком2** – уміння представляти та обговорювати отримані результати й здійснювати трансфер набутих знань;
- **АіВ1** – Здатність адаптуватись до нових умов та самостійно приймати рішення.

3.2. Структура навчальної дисципліни

Назви змістових модулів і тем	Кількість годин											
	денна форма						Заочна форма					
	усього	у тому числі					усього	у тому числі				
		л	п	лаб	інд	с.р.		л	п	лаб	інд	с.р.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Змістовий модуль 1. Основні поняття сингулярної оптики												
Тема 1. Основні поняття скалярної сингулярної оптики. Закон збереження топологічного заряду.		3			3	9						
Тема 2. Ідентифікація та генерація вихорів.		3		3		9						
Тема 3. Вихорі скалярного поля і його фазова структура.		2		3		9						
Тема 4. Народження вихорів.		2				8						
Разом за змістовим модулем 1		10		6	3	35						
Змістовий модуль 2. Вихорі у випадкових полях												
Тема 5. Топологічні індекси поля інтенсивностей.		3				8						
Тема 6. Відновлення фази поля на основі аналізу вихрових мереж.		3		3		8						
Тема 7. Визначення знаків вихорів випадкового поля.						8						
Тема 8. Реалізація сингулярних моделей. Структурна стабільність. Генерісіті.		3				9						
Разом за змістовим модулем 2		10		3		33						
Змістовий модуль 3. Поляризаційні сингулярності												
Тема 9. Поляризаційні сингулярності.		2		3	2	8						
Тема 10. Методи досліджень поляризаційних сингулярностей.		3		3		8						
Тема 11. «Антикореляція» між інтенсивністю і поляризацією векторного поля.		2				8						
Тема 12. Елементарні поляризаційні структури. Сингулярна структура векторного поля і усереднені характеристики векторного поля.		2				8						
Разом за змістовим модулем 3		10		6	2	32						
УСЬОГО ГОДИН	150	30		15	5	100						

3.3. Теми семінарських занять
Семінарські заняття непередбачені

3.4. Теми практичних занять
Практичні заняття непередбачені

3.5. Теми лабораторних занять

№ з/п	Назва теми
1	Інтерференційний аналіз сингулярної структури випадкового спекл-поля.
2	Генерація оптичних вихорів за допомогою синтезованих голограм
3	Утворення вихорів в наслідок інтерференції невеликої кількості пучків
4	Інтерференційний аналіз поляризаційної структури випадкового векторного поля.
5	Створення самозвідних оптичних пасток.

3.6. Тематика індивідуальних завдань

№ з/п	Назва теми
1	Основні поняття скалярної сингулярної оптики. Закон збереження топологічного заряду.
2	Поляризаційні сингулярності.

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 студентів складається з підготовки до лекційних і лабораторних занять, опрацювання лекційного матеріалу, що становить 100% від аудиторного навантаження (45 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) з можливістю повторного складання
	F (1-34)	(незадовільно) з обов'язковим повторним курсом

5. Засоби оцінювання

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

5.1. Розподіл балів, які отримують студенти

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. Критерії оцінки оформлення звіту лабораторної роботи

Кількість балів	Критерій оцінки
1-2	Студент невчасно здав звіт, відповіді фрагментарні і неточні
3-4	Студент вчасно здав звіт але звіт оформлений з незначними помилками або дав не вичерпні відповіді
5	Студент вчасно здав звіт і успішно захистив його

5.3. 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 (генерісіті) 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. Дисклинації. Поляризаційні сингулярності.
15. Вихорі різниці фаз. Знаковий принцип для векторного поля.
16. Методи досліджень поляризаційних сингулярностей.
17. Експериментальне визначення характеристик s-контурів.
18. C-точки як вихорі різниці фаз.
19. «Антикореляція» між інтенсивністю і поляризацією векторного поля.
20. Зв'язок між вихорами компонент и C-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.

5.4. Критерії оцінки усної або письмової відповіді студентів

Кількість балів	Критерій оцінки
1.6-2	Студент 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	Студент 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	Студент за допомогою викладача фрагментарно відповідає на запитання, проте не в повній мірі володіє мінімальним рівнем знань з даного питання
0	Студент не відповідає на поставлене запитання і не бере участі в обговоренні питань теми.

5.5. 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 вихрів скалярного поля.
5. Генерація вихорів за допомогою синтезованих голограм.
6. Знаковий принцип для скалярного поля.
7. Фізична реалізуємість (генерісіті) 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. C-точки як вихорі різниці фаз.
3. «Антикореляція» між інтенсивністю і поляризацією векторного поля.
4. Зв'язок між вихорами компонент и C-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».

6. Форми поточного та підсумкового контролю

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

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. Підборки 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)