

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

СИЛАБУС
НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ
“КОРЕЛЯЦІЙНА ОПТИКА”
обов'язкова дисципліна

Освітньо-професійна програма – Фотоніка: комп'ютерні оптичні системи
Спеціальність – № 152 Метрологія та інформаційно-вимірювальна 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 формування базових уявлень студентів про теоретичні та експериментальні методи кореляційної оптики. В курсі розглядаються сучасні методи опису й вимірювання поляризації, когерентності, інтерференції та дифракції світлових полів, а також перспективні застосування оптичної голографії, які суттєво узагальнюють матеріал, що викладається у стандартному курсі "Фізична оптика". Знання і навички, отримані студентом при вивченні курсу, дозволять майбутньому фахівцю коректно формулювати мету дослідження, обирати адекватні засоби її досягнення, а також здійснювати свідоме планування кореляційно-оптичного та голографічного експерименту при розв'язанні конкретних практичних задач сучасної оптики. Дисципліна логічно пов'язана з курсами "Променева оптика", "Фізична оптика", "Статистична оптика", "Сингулярна оптика" і є одним із завершальних курсів підготовки спеціалістів з напрямку "Оптотехніка", спеціальність «Фотоніка та оптоінформатика».

Змістовні модулі

Предмет кореляційної оптики. Загальне означення когерентності світла. Традиційно-графічний метод опису поляризації світла. Сучасні методи опису поляризації світла. Матричні методи опису перетворення поляризації. Методи вимірювання поляризації. Стокс-поляриметрия. Тензори когерентності та матриці поляризації Вольфа. Перетворення когерентності. Теорема Ван-Циттерта – Церніке. Перетворення когерентності. Індуковні дифракцією та розсіянням спектральні перетворення. Фазові сингулярності у частково когерентних полях. Принцип голографії. Властивості об'ємних голограм. Основні типи голограм. Модель дифракції Юнга-Рубіновича. Голограма Юнга. Науково-історичні передумови голографії. Поняття безопорної голографії. Дифракційні властивості безопорної голограми. Зображуючі властивості безопорної голограми. Голографічна асоціативна пам'ять. Фотометричні характеристики фантомних зображень. Когерентно-оптичне розпізнавання образів та знаків. Голографічний корелятор Вандер Люгта. Властивості нелінійних голограм. Поняття голограми другого порядку. Проблема поляризаційної голографії

1. Мета курсу: формування базових уявлень студентів про теоретичні та експериментальні методи кореляційної оптики. В курсі розглядаються сучасні методи опису й вимірювання поляризації, когерентності, інтерференції та дифракції світлових полів, а також перспективні застосування оптичної голографії, які суттєво узагальнюють матеріал, що викладається у стандартному курсі "Фізична оптика". Знання і навички, отримані студентом при вивченні курсу, дозволять майбутньому фахівцю коректно формулювати мету дослідження, обирати адекватні засоби її досягнення, а також здійснювати свідоме планування кореляційно-оптичного та голографічного експерименту при розв'язанні конкретних практичних задач сучасної оптики. Дисципліна логічно пов'язана з курсами "Променева оптика", "Фізична оптика", "Статистична оптика", "Сингулярна оптика" і є одним із завершальних курсів підготовки спеціалістів з напрямку "Оптотехніка", спеціальність «Фотоніка та оптоінформатика».

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: В результаті вивчення курсу студент повинен:

- **Знати:**
- сучасні методи опису та вимірювання поляризації, когерентності, інтерференції та дифракції світла й області їх застосовності;
- методи опису перетворень когерентності, поляризації та спектрального складу частково когерентних та неоднорідно поляризованих полів;
- принцип голографічного методу та засоби його реалізації;
- основні фізичні властивості голограм й характеристики відновлюваних зображень;

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Змістовий модуль 2.												
Тема 5. Типи голограм. Інтегральні перетворення в голографії. Голограми Френеля, Фраунгофера, Фур'є. Фраунгоферові голограми Б. Томпсона. Голограми сфокусованого зображення.		3										
Тема 6. Модель крайової дифракційної хвилі та її співвідношення з принципом Гюйгенса-Френеля. Голограма крайової хвилі.		3										
Тема 7. Науково-історичні передумови голографії		2										
Тема 8. Методи просторової фільтрації в оптиці. Метод темного поля. Фазовий контраст. Теорія Аббе. Двоетапний метод формування зображення Вольфе-Брегга. Експеримент Майкельсона. Кольорова фотографія Ліпмана.		2										
Разом за змістовим модулем 2		10										
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Змістовий модуль 3.												
Тема 9. Поняття безопорної голографії. Дифракційні властивості безопорної голограми		3										
Тема 10. Зображуючі властивості безопорної голограми. Голографічна асоціативна пам'ять. Фотометричні характеристики фантомних зображень		3										
Тема 11. Перехід від безопорної голограми до голограми з опорним пучком. Граничний опорний кут. Голографічний корелятор. Узгоджена голографічна фільтрація. Проблема розпізнавання образів та знаків (символів).		2										
Тема 12. Схемне розв'язання проблеми реєстрації та відновлення поляризаційної інформації. Джерела спотворень у поляризаційній голографії		2										
Разом за змістовим модулем 3		10										
Усього годин	150	30				120						

3.3. Теми семінарських занять
Семінарські заняття непередбачені

3.4. Теми практичних занять
Практичні заняття непередбачені

3.5. Теми лабораторних занять
Лабораторні заняття не передбачаються

3.6. Тематика індивідуальних завдань
Індивідуальні завдання не передбачаються

3.7. Самостійна робота

3.7.1 (9 семестр)

№ п/п	Тема	Короткий зміст завдання	К-сть годин
1	За змістом робочої програми	Опрацювання лекційного матеріалу, розв'язування задач, підготовка до виконання та захисту лабораторних робіт	56
2	Методи опису поляризації світла	Представлення поляризованих пучків на комплексній площині	6
3	Методи опису поляризації світла	Комплексний ступінь взаємної поляризації	6
4	Методи опису когерентності	Теорема Ван-Циттерта - Церніке у формулюваннях Вольфа та Ритова.	8
5	Поляризація поліхроматичних хвиль	Кореляційно індуковані спектральні перетворення. Спектральний ефект Вольфа	9
6	Інформаційні аспекти когерентності хвилі	Інформативність комплексного ступеня поляризації	5
Усього годин			90

3.7.1 (10 семестр)

п/п	Тема	Короткий зміст завдання	К-сть годин
1	За змістом робочої програми	Опрацювання лекційного матеріалу, розв'язування задач, підготовка до виконання та захисту лабораторних робіт	56
2	Нетрадиційні методи опису процесу дифракції	Модель крайової дифракційної хвилі та її співвідношення з принципом Гюйгенса-Френеля	6
3	Інтегральні перетворення в оптиці	Основний ланцюг інтегральних перетворень та його когерентно-оптична реалізація. Теорема Вінера-Хінчина	6
4	Асоціативні запам'ятовуючі пристрої	Загальні умови правильної яскравісної тонопередачі у голографічній асоціативній пам'яті та засоби їх реалізації	6
5	Оптичне розпізнавання образів	Когерентно-оптичне розпізнавання за методом автокореляції	6
6	Нелінійні безпорні голограми	Резонаторні архітектури нелінійної голографічної асоціативної пам'яті	5
7	Поляризаційна голографія	Поляризаційна голографія на основі Вейгерт-ефекту	5
Усього годин			90

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

Рейтинг студента з курсу складається з балів, що він отримує за:

- письмову відповідь на 9 теоретичних запитань на модульній контрольній роботі,
- розв'язування двох задач на модульній контрольній роботі,
- виконання та захист п'яти лабораторних робіт,
- заохочувальних балів за удосконалення дидактичного матеріалу (**до 3 балів у першому модулі та до 5 балів – у другому**),
- усної відповіді на підсумковому модульному контролі (екзамені).

Критерії оцінки письмової відповіді студента на модульній контрольній роботі

1,8 – 2	студент дає повну і точну відповідь на поставлене запитання й демонструє при цьому володіння матеріалом, винесеним для самостійного опрацювання
1,4 – 1,7	студент при відповіді на поставлене запитання припускається незначних неточностей, які не впливають на суть відповіді, відповідь у межах контексту
1 – 1,3	студент при відповіді на поставлене запитання припускається значних помилок, відповідь неповна (істотні пробіли у знаннях)
0,6 – 0,9	студент фрагментарно відповідає на запитання, проте не в повній мірі володіє мінімальним рівнем знань з даного питання (базові пробіли у знаннях)
0 – 0,5	студент не відповідає на поставлене запитання
Максимальна кількість балів – 9 запитань x 2 бали = 18 балів	

Критерії оцінки розв'язування задач на модульній контрольній роботі

2,6 – 3	задачу розв'язано у повному обсязі, з використанням оптимального алгоритму й фізичним поясненням отриманого результату
2 – 2,5	задачу розв'язано в основному, але без доведення до числа й без фізичного пояснення результату
1,5 – 1,9	студент демонструє знайомство з алгоритмом розв'язання задачі, але має недостатньо навичок його застосування
0,8 – 1,4	студент припускається помилок у реалізації алгоритму розв'язання задачі
0 – 0,7	студент не володіє алгоритмом розв'язування задачі
Максимальна кількість балів – 2 задачі x 3 бали = 6 балів	

5.3. Питання, які виносяться на іспит

1. Чому неможливо приготувати повністю когерентний або повністю некогерентний випромінювач?
2. Теорема Вінера-Хінчина та її когерентно-оптична реалізація.
3. Традиційно-графічний спосіб опису поляризованого світла. Еліпсометричні параметри параметри поля. Закон Малюса та його геометрична інтерпретація.
4. Ортогональні форми поляризації.
5. Як розрізнити когерентну і некогерентну суміші поляризаційно ортогональних пучків?
6. Опис поляризованого світла на основі сфери Пуанкаре. Метод декартових координат.
7. Стокс-параметричний опис поляризації світла.
8. Сфера Пуанкаре і стоксів простір. Опис частково поляризованих пучків у стоксовому просторі.
9. Метод комплексних амплітуд (вектор Джонса).
10. Порівняльний аналіз областей застосовності основних методів опису поляризованого світла.
11. Узагальнений закон Малюса у термінах параметрів Стокса.
12. матричні методи опису перетворення поляризації світла (матриці Мюллера та матриці Джонса). Матриці сукупності, приведені матриці.
13. Стокс-поляриметрия. Алгоритм методу. Метод визначення елементів матриці Мюллера.
14. Тензори когерентності та матриці когерентності (поляризації) Вольфа. Зв'язок матриць когерентності з параметрами Стокса.
15. Аналіз передумов, що лежать в основі теореми Ван-Циттерта – Церніке.
16. Аналіз висновку теореми Ван-Циттерта – Церніке та її геометрична інтерпретація.
17. Дифракційні властивості фазових транспарантів. Індуковані дифракцією та розсіянням спектральні перетворення поліхроматичного світла.
18. У рамках якої моделі пояснюється порядок чергування кольорів по мірі збільшення шорсткості?
19. Вихопи просторових кореляційних функцій та експериментальний метод їх діагностики.
20. Поляризаційні сингулярності у частково когерентних полях.
21. Закон Брега у скалярній та векторній формах. Сфера Евальда.

22. Проаналізувати прояви селективних властивостей об'ємних голограм.
23. Проаналізувати відмінності механізму дифракції на тонких та об'ємних голограмах.
24. Фундаментальна типізація голограм на основі інтегральних перетворень.
25. Модель дифракційних явищ Юнга-Рубіновича. Її співвідношення з принципом Гюйгенса-Френеля.
26. Властивості голограм Юнга.
27. Методи просторової фільтрації як науково-історична передумова голографії.
28. Які експерименти демонструють актуальність фазової інформації при формуванні оптичного зображення?
29. Загальний оператор безопорної голограми. Аналіз комбінацій матричних елементів.
30. Дифракційні властивості безопорної голограми. Графічна побудова відновлюваного образу.
31. Безопорні голограми центрально-симетричних та періодичних об'єктів.
32. Зображуючі властивості безопорної голограми. Дискримінаційний механізм відновлення фантомного зображення.
33. Сформулювати і пояснити умови відновлення зображення за безопорною голограмою.
34. Фотометричні характеристики безопорних голограм. Інверсія яскравостей у фантомному зображенні.
35. Голографічна асоціативна пам'ять з правильною яскравісною тонопередачею. Відбиваюча безопорна голограма.
36. Пояснити граничний перехід від безопорної голограми до голограми з опорним пучком. Чим визначається мінімальний опорний кут?
37. Поняття узгодженої фільтрації. Голографічний корелятор. У чому полягають складнощі голографічного розпізнавання образів та знаків?
38. Загальний оператор та основні властивості нелінійних голограм.
39. Голографічна асоціативна пам'ять на основі голограми другого порядку. Статико-голографічне фазове спряження (обертання хвильового фронту) на основі голограми другого порядку.
40. Принцип та складнощі голографічного запису і відновлення поляризаційної інформації.

6. Запитання для модульного контролю з лекційного курсу

6.1. 9 семестр

Модуль 1

1. Чому неможливо приготувати повністю когерентний або повністю некогерентний випромінювач?
2. Ортогональні форми поляризації.
3. Традиційно-графічний спосіб опису поляризованого світла. Еліпсометричні параметри параметри поля. Закон Малюса та його геометрична інтерпретація.
4. Теорема Вінера-Хінчина та її когерентно-оптична реалізація.
5. Як розрізнити когерентну і некогерентну суміші поляризаційно ортогональних пучків?
6. Опис поляризованого світла на основі сфери Пуанкаре. Метод декартових координат.

Модуль 2

1. Стокс-параметричний опис поляризації світла.
2. Сфера Пуанкаре і стоксів простір. Опис частково поляризованих пучків у стоковому просторі.
3. Метод комплексних амплітуд (вектор Джонса).
4. Порівняльний аналіз областей застосовності основних методів опису поляризованого світла.
5. Стокс-поляриметрия. Алгоритм методу. Метод визначення елементів матриці Мюллера.
6. Матричні методи опису перетворення поляризації світла (матриці Мюллера та матриці Джонса). Матриці сукупності, приведені матриці.

Модуль 3

1. Аналіз передумов, що лежать в основі теореми Ван-Циттерта – Церніке
2. Тензори когерентності та матриці когерентності (поляризації) Вольфа. Зв'язок матриць когерентності з параметрами Стокса.
3. Ступень когерентності.
4. Аналіз висновку теореми Ван-Циттерта – Церніке та її геометрична інтерпретація.
5. Суперпозиція хвиль з різними частотами.
6. Дифракційні властивості фазових транспарантів. Індуковані дифракцією та розсіянням спектральні перетворення поліхроматичного світла.

6.2. 10 семестр

Модуль 1

1. У рамках якої моделі пояснюється порядок чергування кольорів по мірі збільшення шорсткості?
 2. Проаналізувати відмінності механізму дифракції на тонких та об'ємних голограмах.
 3. Модель дифракційних явищ Юнга-Рубіновича. Її співвідношення з принципом Гюйгенса-Френеля.
 4. Узагальнений закон Малюса у термінах параметрів Стокса
 5. Методи просторової фільтрації як науково-історична передумова голографії.
 6. Поведінка вектора напруженості електричного поля пр9. У рамках якої моделі пояснюється порядок чергування кольорів по мірі збільшення шорсткості?
- Суперпозиції хвиль з різними частотами.

Модуль 2

1. Дифракційні властивості безопорної голограми. Графічна побудова відновлюваного образу.
2. Проаналізувати прояви селективних властивостей об'ємних голограм.
3. Фундаментальна типізація голограм на основі інтегральних перетворень.
4. Які експерименти демонструють актуальність фазової інформації при формуванні оптичного зображення?
5. Фотометричні характеристики безопорних голограм. Інверсія яскравостей у фантомному зображенні.
6. Властивості голограм Юнга.

Модуль 3

1. Пояснити граничний перехід від безопорної голограми до голограми з опорним пучком. Чим визначається мінімальний опорний кут?
2. Загальний оператор та основні властивості нелінійних голограм.
3. Поняття узгодженої фільтрації. Голографічний корелятор. У чому полягають складнощі голографічного розпізнавання образів та знаків?
4. Сформулювати і пояснити умови відновлення зображення за безопорною голограмою.
5. Загальний оператор безопорної голограми. Аналіз комбінацій матричних елементів.
6. Безопорні голограми центрально-симетричних та періодичних об'єктів.

ПЕРЕЛІК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

Основна:

1. Кольер Р., Беркхарт К., Лин Л. Оптическая голография: Пер. с англ. - М.: Мир, 1973. - 686 с.
2. Борн М., Вольф Э. Основы оптики: Пер. с англ. - М.: Наука, 1973. - 719 с.
3. Шерклифф У. Поляризованный свет: Пер. с англ. - М.: Мир, 1965. - 264 с.
4. Азам Р., Башара Н. Эллипсометрия и поляризованный свет: Пер. с англ. - М.: Мир, 1981. - 584 с.

Додаткова:

1. Оптическая голография, Т.1,2 / Под ред. Г. Колфилда: Пер. с англ. - М.: Мир, 1982. - 720 с.
2. Папулис А. Теория систем и преобразований в оптике: Пер. с англ. - М.: Мир, 1971. - 496 с.
3. Стрэтт Дж.В. (Лорд Рэлей). Волновая теория света: Пер. с англ. - М.-Л.: ГИТТЛ, 1940. - 208 с.
4. Крауфорд Ф. Волны (Берклеевский курс физики, Т.3): Пер. с англ. - М.: Наука, 1976. - 528 с.
5. Зоммерфельд А. Оптика: Пер. с нем.: - М.: ИИЛ, 1953. - 486 с.