

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



«ЗАТВЕРДЖУЮ»
Директор Інституту ФТКН

Ангельський О.В.

«28» серпня 2020 року

РОБОЧА ПРОГРАМА
навчальної дисципліни
«КОРЕЛЯЦІЙНА ОПТИКА»
вибіркова дисципліна

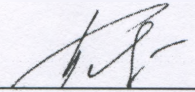
Освітньо-наукова програма – «Фізика і астрономія»
Спеціальність – № 104 «Фізика і астрономія»
Галузь знань – № 10 «Природничі науки»
Рівень вищої освіти – третій (освітньо-науковий)
Інститут фізико-технічних та комп'ютерних наук
Мова навчання – українська

Чернівці 2020

Робоча програма навчальної дисципліни «**Кореляційна оптика**» 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.

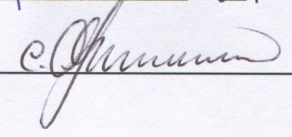
Робоча програма затверджена на засіданні кафедри кореляційної оптики
Протокол № 1 від «24» серпня 2020 року

Завідувач кафедри  (Максимьяк П.П.)

Схвалено

Методичною радою ІФТКН

Протокол № 1 від «24» серпня 2020 року

Голова методичної ради ІФТКН  (Струк Я.М.)

1. Мета навчальної дисципліни: формування базових уявлень аспірантів 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. Знання і навички, отримані аспірантом 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.

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

ЗК1. Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу.

ЗК5. Здатність генерувати нові ідеї та застосовувати знання у практичних ситуаціях.

ЗК8. Здатність працювати автономно, ініціювати, організовувати та проводити комплексні теоретичні та експериментальні дослідження.

ЗК10. Здатність виявляти, ставити й вирішувати проблеми та проводити дослідження на відповідному рівні, планувати й прогнозувати результати.

ФК1. Дослідницькі здатності та компетентність виконувати оригінальні дослідження у вибраній області фізики та досягати наукових результатів, які створюють нові знання, із звертанням особливої уваги до актуальних задач та використанням новітніх наукових методів.

ФК5. Здатність до продукування нових ідей і розв'язання комплексних проблем у вибраній області фізичних досліджень.

ФК6. Здатність проводити фундаментальні та прикладні наукові дослідження з використанням сучасних експериментальних та теоретичних методів.

ФК7. Усвідомлення мети й завдань сучасної фізики та астрономії, здатність вирішувати проблеми й задачі інноваційного характеру в одній із галузей фізики або астрономії.

2. Результати навчання: В результаті вивчення курсу аспірант 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;
- особливості об'ємних голограм та голограм спекл-полів;
- основні застосування голографії.

Вміти:

- володіти основами поляриметричних та дифрактометричних досліджень;
- володіти основами техніки голографічного експерименту;
- оцінювати переваги та обмеження ефективності голографічного методу при розв'язанні конкретної практичної задачі.

В результаті вивчення курсу аспірант повинен набути наступних програмних результатів навчання, передбачених ОНП:

ПРН2. Здатність здійснити завершене оригінальне дослідження, що ґрунтується на використанні сучасних методів науки.

ПРН11. Планувати і виконувати експериментальні та/або теоретичні дослідження з фізики та дотичних міждисциплінарних напрямів з використанням сучасних наукових методів, критично аналізувати результати власних досліджень і результати інших дослідників у контексті усього комплексу сучасних знань щодо досліджуваної проблеми.

ПРН18. Мати ґрунтовні знання предметної області та розуміння професії;

3. Опис навчальної дисципліни

3.1. Загальна інформація

Форма навчання	Рік підготовки	Семестр	Кількість			Кількість годин						Вид підсумкового контролю
			Кредитів	Годин	Змістовних модулів	лекції	практичні	семінарські	лабораторні	Самостійна робота	Індивідуальні завдання	
Денна	1	1	4	120	3	30				90		екзамен

Структура навчальної дисципліни

Назви змістових модулів і тем	Кількість годин					
	усього	л	п	лаб	інд	с.р.
1	2	3	4	5	6	7
Змістовий модуль 1. Перетворення хвиль в оптиці						
Тема 1. Вступ.	8	2				6
Тема 2. Скалярні хвилі.	8	2				6
Тема 3. Перетворення в оптиці.	8	2				6
Тема 4. Кореляція і згортка.	8	2				6
Тема 5. Системи в оптиці.	8	2				6
Разом за змістовим модулем 1	40	10				30
Змістовий модуль 2. Розповсюдження хвиль. Поляризація						
Тема 6. Розповсюдження оптичної хвилі	8	2				6
Тема 7. Векторні поля. Поляризація	8	2				6
Тема 8. Елементи «елементарної» матричної алгебри	8	2				6
Тема 9. Методи сучасного опису поляризації. Формалізм вектора Джонса.	8	2				6
Тема 10. Методи сучасного опису поляризації. Параметри Стокса.	8	2				6
Разом за змістовим модулем 2	40	10				30
Змістовий модуль 3. Методи опису векторних хвиль. Когерентність						
Тема 11. Розповсюдження поляризованого світла через поляризуючі оптичні системи	8	2				6
Тема 12. Представлення поляризаційних станів за допомогою комплексних чисел	8	2				6
Тема 13. Розповсюдження частково поляризованого квазімонохроматичного світла через деполаризуючі оптичні системи. Формалізм матриці Мюллера	8	2				6
Тема 14. Когерентність оптичної хвилі	8	2				6
Тема 15. Формування зображення.	8	2				6
Разом за змістовим модулем 3	40	10				30
Усього годин	120	30				90

3.2. Зміст навчальної дисципліни

Тема 1. Вступ.

Вступ. Предмет кореляційної оптики. Структура курсу. Загальні рівняння. Рівняння Максвелла. Хвильове рівняння. Рівняння Лапласа.

Тема 2. Скалярні хвилі.

Скалярні хвилі. Хвильове рівняння для випадку однорідного середовища вільного від токів і зарядів. Фазова швидкість. Гармонічні хвилі. Хвильове число. Гармонічна хвиля загального вигляду. Хвильові пакети. Групова швидкість. Квазімонохроматичне наближення. Биття. Простий хвильовий пакет. Дисперсія показника заломлення.

Тема 3. Перетворення в оптиці.

Фур'є-перетворення. Лінійність перетворення Фур'є. Теорема масштабу. Теорема зсуву. Похідна від сигналу і Фур'є-перетворення. Співвідношення Парсеваля (Закон збереження енергії). Деякі приклади Фур'є-перетворень. Прямокутний імпульс. Функція Хевісайда. Гармонічний сигнал. Гаусів пучок. Функція типу «сферична хвиля». Фур'є-перетворення узагальнених функцій. Перетворення Мелліна. Теорема масштабу.

Тема 4. Кореляція і згортка

Кореляційна функція порядку $(m + n)$. Стаціонарне і ергодичне поле. Кореляційна функція другого порядку. Довжина кореляції. Згортка і Кореляція. Згортка як «згладжуюча» операція. Фур'є-образ згортки і кореляції. Прямі і обернені теореми згортки і кореляції.

Тема 5. Системи в оптиці.

Системи в оптиці. Імпульсний відгук системи. Просторово-інваріантні системи. Частотна характеристика системи. Багатокаскадні системи. Частотна характеристика системи, яка складається з n каскадів. Сигнал з обмеженим спектром. Теорема відліків.

Тема 6. Розповсюдження оптичної хвилі

Метод стаціонарної фази. Наближена величина деяких інтегралів. Наближення Френеля. Наближення Фраунгофера. Принцип Бабіне. Наближення хвильових фронтів. Одномірна інтерпретація наближення хвильових фронтів. Умова застосування наближення хвильових фронтів. Наближення тіні. Багатокаскадна система з асферичними елементами.

Тема 7. Векторні поля. Поляризація

Елементарні уявлення. Головна або абсолютна фаза. Ортогональні форми поляризації. Частково поляризоване світло. Опис векторного поля за допомогою ортогональних компонент. Електромагнітна плоска хвиля загального вигляду. Гармонічна електромагнітна плоска хвиля. Поперечність електромагнітної плоскої хвилі. Еліптична поляризація. Сфера Пуанкаре.

Тема 8. Елементи «елементарної» матричної алгебри

Множення матриці на число. Транспонування матриці. Додавання матриць. Добуток матриць. Знаходження оберненої матриці.

Тема 9. Методи сучасного опису поляризації. Формалізм вектора Джонса.

Вектор Джонса. Повний вектор Джонса. Нормований вектор Джонса.

Вектори Джонса для деяких станів поляризації. Зміна вектора Джонса при перетвореннях системи координат. Властивості матриці повороту. Перетворення вектора Джонса при повороті системи координат. Зміна вектора Джонса при паралельному переносі системи координат.

Тема 10. Методи сучасного опису поляризації. Параметри Стокса.

Параметри Стокса. Вектор Стокса. Нормовані параметри Стокса. Локальні параметри Стокса. Усереднені за площею параметри Стокса. Матриця когерентності і параметри Стокса. Спеціальні випадки. Лінійно поляризоване світло. Циркулярно поляризоване світло. Довільно еліптично поляризована хвиля. Неполяризоване світло. Частково поляризоване світло.

Тема 11. Розповсюдження поляризованого світла через поляризуючі оптичні системи

Формалізм матриці Джонса. Значення елементів матриці Джонса. Матриці Джонса «основних» оптичних пристроїв. Пристрої, які працюють на пропускання. Матриця фазообертаючої пластинки. Матриця одного лінійного діхроїчного середовища. Ідеальний лінійний поляризатор. Середовище, яке володіє оптичною активністю. Пристрої, які працюють на відбивання. Перетворення декартової матриці Джонса при повороті системи координат. Кругова матриця Джонса. Зв'язок між декартовою та круговою матрицями Джонса.

Тема 12. Представлення поляризаційних станів за допомогою комплексних чисел

Виділення інформації про еліпс поляризації при використанні формалізму матриці Джонса. Поляризаційна передаточна функція

Тема 13. Розповсюдження частково поляризованого квазімонохроматичного світла через деполяризуючі оптичні системи. Формалізм матриці Мюллера

Формалізм матриці Мюллера. Приклад застосування формалізму матриці Мюллера (ФММ). Розрахунок значення членів матриці. Експериментальне визначення елементів матриці Мюллера. Порівняння формалізму матриці Мюллера і формалізму матриці Джонса.

Тема 14. Когерентність оптичної хвилі

Деякі визначення та ключові поняття. Елементарні уявлення про часову і просторову когерентність. Часова когерентність і час когерентності. Довжина когерентності. Просторова когерентність. Площа когерентності. Об'єм когерентності. Уявлення про когерентність на основі підходів кореляційної оптики. Комплексне представлення фізичних поліхроматичних полів. Миттєва інтенсивність. Комплексний ступень когерентності. Несталі ефекти суперпозиції. Інтерференція хвиль із різними частотами. Суперпозиція зв'язаних хвиль. Ступень зв'язку між хвилями. «Абсолютний» зв'язок між хвилями.

Тема 15. Формування зображення.

Формування зображення у когерентному і некогерентному світлі. Сигнал на виході системи (когерентний випадок). Ідеальна просторово-інваріантна система. Обмежуючі апертури. Функція розсіяння точки. Відносний отвір об'єктива.

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	Метод стаціонарної фази.
2	Наближена величина деяких інтегралів. Наближення Френеля. Наближення Фраунгофера. Принцип Бабіне. Наближення хвильових фронтів. Одномірні інтерпретації наближення хвильових фронтів. Умова застосування наближення хвильових фронтів. Наближення тіні.
3	Багатокаскадні системи з асферичними елементами.
4	Множення матриці на число. Транспонування матриці. Додавання матриць. Добуток матриць. Знаходження оберненої матриці.
5	Часова когерентність і час когерентності. Довжина когерентності. Просторова когерентність. Площа когерентності. Об'єм когерентності
6	Опис векторного поля за допомогою ортогональних компонент. Електромагнітна плоска хвиля загального вигляду
7	Хвильове рівняння для випадку однорідного середовища вільного від токів і зарядів

* 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 ЕКТС

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, 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

- Хвильове рівняння. Рівняння Лапласа.
- Квазімонохроматичне наближення. Биття. Простий хвильовий пакет. Дисперсія показника заломлення.
- Фур'є-перетворення. Лінійність перетворення Фур'є. Теорема масштабу. Теорема зсуву.
- Похідна від сигналу і Фур'є-перетворення. Співвідношення Парсеваля (Закон збереження енергії).
- Перетворення Мелліна. Теорема масштабу.
- Кореляційна функція порядку $(m + n)$.
- Стационарне і ергодичне поле. Кореляційна функція другого порядку. Довжина кореляції.
- Пряма і обернена теореми згортки і кореляції.
- Системи в оптиці. Імпульсний відгук системи. Просторово-інваріантні системи. Частотна характеристика системи. Багатокаскадні системи.
- Наближення Френеля. Наближення Фраунгофера. Принцип Бабіне.
- Наближення хвильових фронтів. Одномірна інтерпретація наближення хвильових фронтів. Умова застосування наближення хвильових фронтів.
- Багатокаскадна система з асферичними елементами.
- Головна або абсолютна фаза. Ортогональні форми поляризації. Частково поляризоване світло. Опис векторного поля за допомогою ортогональних компонент.
- Вектор Джонса. Повний вектор Джонса. Нормований вектор Джонса.
- Параметри Стокса. Вектор Стокса. Нормовані параметри Стокса. Локальні параметри Стокса. Усереднені за площею параметри Стокса. Матриця когерентності і параметри Стокса.
- Формалізм матриці Джонса. Значення елементів матриці Джонса. Матриці Джонса «основних» оптичних пристроїв.
- Представлення поляризаційних станів за допомогою комплексних чисел. Виділення інформації про еліпс поляризації при використанні формалізму матриці Джонса. Поляризаційна передаточна функція
- Розповсюдження частково поляризованого квазімонохроматичного світла через деполяризуючі оптичні системи. Формалізм матриці Мюллера. Експериментальне визначення елементів матриці Мюллера. Порівняння формалізму матриці Мюллера і формалізму матриці Джонса.
- Часова когерентність і час когерентності. Довжина когерентності. Просторова когерентність. Площа когерентності. Об'єм когерентності.

20. Уявлення про когерентність на основі підходів кореляційної оптики.
21. Комплексне представлення фізичних поліхроматичних полів. Миттєва інтенсивність. Комплексний ступень когерентності.
22. Несталі ефекти суперпозиції. Інтерференція хвиль із різними частотами. Суперпозиція зв'язаних хвиль. Ступень зв'язку між хвилями. «Абсолютний» зв'язок між хвилями.
23. Формування зображення у когерентному і некогерентному світлі.
24. Сигнал на виході системи (когерентний випадок). Ідеальна просторово-інваріантна система. Обмежуючі апертури. Функція розсіювання точки. Відносний отвір об'єктива.

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. Хвильове рівняння. Рівняння Лапласа.
2. Квазімонохроматичне наближення. Биття. Простий хвильовий пакет. Дисперсія показника заломлення.
3. Фур'є-перетворення. Лінійність перетворення Фур'є. Теорема масштабу. Теорема зсуву.
4. Похідна від сигналу і Фур'є-перетворення. Співвідношення Парсеваля (Закон збереження енергії).
5. Перетворення Мелліна. Теорема масштабу.
6. Кореляційна функція порядку $(m + n)$.
7. Стаціонарне і ергодичне поле. Кореляційна функція другого порядку. Довжина кореляції.
8. Пряма і обернена теореми згортки і кореляції.

Модуль 2

1. Системи в оптиці. Імпульсний відгук системи. Просторово-інваріантні системи. Частотна характеристика системи. Багатокаскадні системи.
2. Наближення Френеля. Наближення Фраунгофера. Принцип Бабіне.
3. Наближення хвильових фронтів. Одномірні інтерпретації наближення хвильових фронтів. Умова застосування наближення хвильових фронтів.
4. Багатокаскадна система з асферичними елементами.
5. Головна або абсолютна фаза. Ортогональні форми поляризації. Частково поляризоване світло. Опис векторного поля за допомогою ортогональних компонент.
6. Вектор Джонса. Повний вектор Джонса. Нормований вектор Джонса.
7. Параметри Стокса. Вектор Стокса. Нормовані параметри Стокса. Локальні параметри Стокса. Усереднені за площею параметри Стокса. Матриця когерентності і параметри Стокса.
8. Формалізм матриці Джонса. Значення елементів матриці Джонса. Матриці Джонса «основних» оптичних пристроїв.

Модуль 3

1. Представлення поляризаційних станів за допомогою комплексних чисел. Виділення інформації про еліпс поляризації при використанні формалізму матриці Джонса. Поляризаційна передаточна функція
2. Розповсюдження частково поляризованого квазімонохроматичного світла через деполаризуючі оптичні системи. Формалізм матриці Мюллера. Експериментальне визначення елементів матриці Мюллера. Порівняння формалізму матриці Мюллера і формалізму матриці Джонса.

3. Часова когерентність і час когерентності. Довжина когерентності. Просторова когерентність. Площа когерентності. Об'єм когерентності.
4. Уявлення про когерентність на основі підходів кореляційної оптики.
5. Комплексне представлення фізичних поліхроматичних полів. Миттєва інтенсивність. Комплексний ступень когерентності.
6. Несталі ефекти суперпозиції. Інтерференція хвиль із різними частотами. Суперпозиція зв'язаних хвиль. Ступень зв'язку між хвилями. «Абсолютний» зв'язок між хвилями.
7. Формування зображення у когерентному і некогерентному світлі.
8. Сигнал на виході системи (когерентний випадок). Ідеальна просторово-інваріантна система. Обмежуючі апертури. Функція розсіювання точки. Відносний отвір об'єктива.

7. Рекомендована література

7.1. Базова

1. Папулис А. Теория систем и преобразований в оптике. М.: Изд. «МИР», Пер с англ., 1971. – 495 с.
2. Литвиненко О. Н. Основы радиооптики. Киев. Изд. «Техніка», 1974. – 206 с.
3. Борн М., Вольф Э. Основы оптики. М.: «Наука», Изд. 2-е. Пер с англ., 1973. – 713 с.
4. Перина Я. Когерентность света. М.: Изд. «МИР». Пер с англ., 1974. – 368 с.
5. Р.Азам Н.Башара, «Эллипсометрия и поляризованный свет», Пер. с англ., М.: Мир, 1981 – 584 с.
6. У.Шерклифф, «Поляризованный свет». Пер. с англ., М.: Мир, 1965 – 264 с.
- 7а. E. Wolf, L. Mandel, «Coherence Properties of Optical Fields», *Rev. Mod. Phys.* **37** (2), 231 (1965).
- 7б. Російський переклад, Э. Вольф, Л. Мандель, «Когерентные свойства оптических полей»:
 - розділи 1-3, *УФН*, **87**, (3) стр. 491-520, (1965);
 - розділ 4, *УФН*, **88**, (2) стр. 347-366, (1966);
 - розділи 5-7, *УФН*, **88**, (4), стр. 619-673, (1966).
8. Оптическая обработка информации. Применения. Под. ред. Д.Кейсесента. М.: Изд. «МИР», Пер с англ., 1980. – 350 с.

7.2. Допоміжна

1. И.Г.Стюард. Введение в Фурье оптику. М.: Изд. «МИР», Пер с англ., 1985. – 182 с.
- Применение методов Фурье оптики. Под. ред. Г.Старка. Пер. с англ., М.: Радио и связь, 1988 – 536 с.
2. Мохунь И.И. Введение в линейную сингулярную оптику. Черновицкий университет, 2012 – 216 с..
3. А.Джеррард, Дж.М.Бёрч, «Введение в матричную оптику», Пер. с англ., М.: Мир, 1978 – 341 с.
4. Van Heerden P.J. «A new optical method of storing and retrieving information». *Appl. Opt.*, **2**, № 4, P. 387-392, (1963).
5. Аристов В.В., Броуде В.Л., Ковальский Л.В., Полянский В.К., Тимофеев В.Б., Шехтман В.Ш. «О голографии без опорного пучка». Доклады АН СССР, **177**, №1, С. 65-67, (1967).
6. Мохунь И.И., Росляков С.Н., Яценко В.В. «Восстановление фазовой и амплитудной составляющих дифракционного поля, рассеянного мелкоструктурным объектом, из голограммы без опорного пучка», *Известия РАН, серия физическая*, **56**, №4, С. 205-211, (1992).
7. Мохунь И.И., Бесага Р.Н., Яценко В.В. «Восстановление оптических полей из безопорных голограмм», *Оптика и спектроскопия*, **76**, №4, С. 660-666, (1994).
8. П.В. Полянский. «Ассоциативные свойства голограмм второго порядка», *Опт. журнал.*, **64**, №4, С.28-37, (1997).
9. П.В. Полянский. «Ассоциативная память с использованием статистического фазообращающего зеркала на основе голограммы второго порядка» *Оптика и спектроскопия*, **84**, №2, С.346-351, (1998).

8. Інформаційні ресурси

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