

КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА

Фізичний факультет

Кафедра оптики

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Заступник декана
з навчальної роботи
Момот О.В.

« 31 » серпня 2023 року

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Оптика ультракоротких імпульсів

для студентів

галузь знань	10 Природничі науки
спеціальність	104 Фізика та астрономія
освітній рівень	магістр
освітня програма	Оптика, лазерна фізика
вид дисципліни	обов'язкова

Форма навчання	очна
Навчальний рік	2023/2024
Навчальний семестр	3
Кількість кредитів ECTS	3
Мова викладання, навчання та оцінювання	українська
Форма заключного контролю	іспит

Викладачі: доцент **Ящук Василь Павлович**


Пролонговано: на 2024/2025 н.р. (О.Малюк) «18» 06 2024 р.
на 2025/2026 н.р. (О.Малюк) «23» 06 2025 р.
на 20 /20 н.р. () « » 20 р.

КИЇВ – 2023

Розробник(и): Ящук Василь Павлович, канд. фіз.-мат. наук, доцент, доцент кафедри оптики.

(ПІБ, науковий ступінь, вчене звання, посада, кафедра)

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 _____ (підпис) (Оліх О.Я.)
(прізвище та ініціали)

ВСТУП

1. Мета дисципліни – надання теоретичних знань, необхідних для розуміння принципів нелінійно-оптичних процесів в піко- та фемтосекундних часових діапазонах і їх використання для генерації надкоротких лазерних імпульсів.

2. Попередні вимоги до опанування або вибору навчальної дисципліни (за наявності)¹:

2.1. Володіти знаннями із розділів загальної фізики: фізичної оптики та електродинаміки.

2.2. Володіти базовими знаннями спеціальних курсів «Лазерна фізика», «Нелінійна оптика» та основами фур'є аналізу.

3. Анотація навчальної дисципліни:

Навчальна дисципліна «Оптика надкоротких імпульсів» вивчає нелінійно-оптичні явища в піко- та фемтосекундному діапазоні, а також принципи генерації надкоротких імпульсів та вищих гармонік, методи їх реєстрації та області їх застосування. Розглядаються вплив фазової і амплітудної самомодуляції та дисперсії групової швидкості на формування чірпованих світлових імпульсів. Розглядається формування/підсилення надкоротких світлових імпульсів за допомогою компресії/розтягування імпульсів початкових імпульсів. Розглядаються генерація аттосекундних імпульсів і вищих гармонік, властивості випромінювання фемтосекундних лазерів і їх застосування.

Програма складається двох розділів (тем):

Тема 1. Особливості і генерація надкоротких імпульсів.

Тема 2. Контроль та керування параметрами надкоротких імпульсів і взаємодія їх випромінювання із середовищем.

Теми діляться на два змістовних модулі:

модуль 1 - тема 1

модуль 2 - теми 2.

Методи викладання: лекції та практичні заняття. Методи оцінювання: модульні контрольні роботи, реферати, залік. Підсумкова оцінка виставляється на основі проміжних оцінок модульного контролю (40%) та іспиту (60%).

4. Завдання (навчальні цілі): - вивчення фізичних механізмів і ефектів, що лежать в основі нелінійно-оптичних процесів генерації ультракоротких світлових імпульсів, особливостей їх взаємодії з середовищем, контролю їх параметрів.

Дисципліна спрямована на досягнення таких загальних та спеціальних (фахових) компетентностей випускника:

Загальні компетентності

ЗК02. Знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності.

ЗК03. Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел.

ЗК04. Здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями.

ЗК09. Здатність діяти соціально відповідально та свідомо, нести повну відповідальність за самостійно виконану роботу.

Спеціальні (фахові) компетентності

СК05. Здатність сприймати новоздобуті знання в області фізики та астрономії та інтегрувати їх із уже наявними, а також самостійно опанувати знання і навички, необхідні для розв'язання складних задач і проблем у нових для себе деталізованих предметних областях фізики або астрономії й дотичних до них міждисциплінарних областях

СК10. Вміти використовувати методи чисельних та аналітичних розрахунків в оптиці.

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 закономірності поширення надкоротких інтенсивних лазерних імпульсів в середовищі.	Лекції	Реферати на задані індивідуальні теми	25
1.2	Знати основні фізичні механізми, що лежать в основі формування надкоротких світлових імпульсів	Лекції	Модульна контрольна робота	25
1.3	Знати методи отримання високоінтенсивних фемтосекундних імпульсів, отримання аттосекундних імпульсів та оптичних гармонік високих порядків.	Лекції	Реферати на задані індивідуальні теми	10
1.4	Знати нелінійно-оптичні методи реєстрації параметрів надкоротких лазерних імпульсів.	Практичні заняття	Модульна контрольна робота	15
1.5	Знати особливості характеристик фемтосекундних імпульсів та їх взаємодії із середовищем і застосування у метрології, біології, медицині та технології.	Практичні заняття	Реферати на задані індивідуальні теми	15
2.1	Вміти використовувати набуті знання в практичній роботі та роботі з науковою літературою.	Практичні заняття Самостійна робота	Реферати, опитування	10

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

Результати навчання дисципліни (код)	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	2.1
Програмні результати навчання (назва)						
ПР05. Здійснювати феноменологічний та теоретичний опис досліджуваних фізичних або астрономічних явищ, об'єктів і процесів.	+	+	+		+	+
ПР06. Обирати ефективні математичні методи та інформаційні технології та застосовувати їх для здійснення досліджень або інновацій в області фізики або астрономії.	+	+			+	
ПР09. Аналізувати та узагальнювати наукові результати з обраного напрямку фізики або астрономії, відслідковувати найновіші досягнення в цьому напрямі, взаємокорисно спілкуючись із колегами.	+	+	+	+	+	+

ПР13. Створювати фізичні, математичні і комп'ютерні моделі природних об'єктів та явищ, перевіряти їх адекватність, досліджувати їх для отримання нових висновків та поглиблення розуміння природи, аналізувати обмеження.	+	+	+		+	+
ПР17. Знати і розуміти фізичні основи функціонування оптичних пристроїв та систем.	+	+	+	+	+	+
ПР18. Вміти здійснювати планування та проводити експериментальне дослідження структурних, оптичних та електрофізичних властивостей органічних (в тім числі біологічних та наноб'єктів) і неорганічних середовищ.	+	+		+	+	+

7. Схема формування оцінки.

7.1 Форми оцінювання студентів (перелік видів робіт та форм їх контролю/ оцінювання із зазначенням мін. - граничної та максимальної кількості балів чи відсотків):

- семестрове оцінювання:

1. Модульна контрольна робота 1: 6 –10 балів
2. Модульна контрольна робота 2: 6–10 балів
3. Реферати (4 шт.)– 3–5 балів за кожний реферат (разом 12 – 20 балів)

всього мінімум 24 бали, максимум – 40 балів.

- підсумкове оцінювання у формі іспиту (обов'язкове проведення екзаменаційного оцінювання в письмовій формі).

	Модуль 1		Модуль 2		Екзамен	Підс. оцінка
	Контр. роб. 1	Реф. 1 і 2	Контр. роб. 2	Реф. 3 і 4		
Мінім.	6	6 (3x2)	6	6 (3x2)	36	60
Макс.	10	10 (5x2)	10	10 (5x2)	60	100

Студент не допускається до екзамену, якщо під час семестру набрав **менше ніж 24 бали**. Оцінка за іспит не може бути **меншою 36 балів** для отримання загальної позитивної оцінки за курс.

7.2 Організація оцінювання: (обов'язково зазначається порядок організації передбачених робочою навчальною програмою форм оцінювання із зазначенням орієнтовного графіку оцінювання). Кожна модульна контрольна робота і написання рефератів проводиться після вивчення відповідних тем.

7.3. Шкала відповідності оцінок

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

Програма навчальної дисципліни

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

№ п/п	Номер і назва теми*	Кількість годин		
		лекції	практичні	Самостійн а робота
<i>Змістовий модуль 1. Особливості і генерація надкоротких імпульсів.</i>				
1	Лекція 1 Вступ: Ультракороткі лазерні імпульси, і їх особливості. Взаємозв'язок спектральних і часових характеристик світлових імпульсів. Особливості поведінки нелінійних середовищ у фемтосекундному часовому діапазоні.	2		3
2	Лекція 2. Обмеження вкорочення лазерних імпульсів методом модуляції добротності резонатора. Метод синхронізації мод. Характеристики випромінювання лазера в режимі синхронізації мод. Методи і фізичні механізми синхронізації мод.	2		5
3	Лекція 3. Амплітудна і фазова самомодуляція, дисперсія групової швидкості і їх вплив на світлові імпульси. Формування чірпованих світлових імпульсів.	2		3
4	Лекція 4. Компресія чірпованих імпульсів. Компресори, стретчери і Регулятори дисперсії групової швидкості. Чірповані дзеркала.	2		4
5	Лекція 5. Принципи побудови та оптична схема фемтосекундного лазера. Керування тривалістю і спектром випромінювання фемтосекундного лазера. Спектральні, часові, просторові та когерентні властивості випромінювання фемтосекундних лазерів.	2		5
6	Лекція 6. Активні середовища, оптичні елементи, та модулятори добротності резонатора фемтосекундного лазера.	1		3
7	Лекція 7. Світлові солітони та механізми їх формування. Еволюція випромінювання і формування світлових солітонів у фемтосекундних лазерах. Нелінійні рівняння, що описують утворення світлових солітонів та форма імпульсів фемтосекундних лазерів.	2		5
8	Особливості підсилення фемтосекундних світлових імпульсів. Багатопрхідні та регенеративні підсилювачі фемтосекундних імпульсів. CPA підсилювачі. Параметричні підсилювачі.	2		4
<i>Змістовий модуль 2. Контроль та керування параметрами надкоротких імпульсів і взаємодія їх випромінювання із середовищем.</i>				
<i>Тематика практичних занять</i>				
9	Лекція 9. Світлові імпульси і їх характеристики. Розповсюдження імпульсів світла в середовищі. Дисперсія, групова швидкість, дисперсія групової швидкості.		2	4
10	Лекція 10. Часове і частотне представлення сигналів та їх взаємозв'язок через перетворення Фур'є. Властивості перетворення Фур'є і приклади його застосування до найважливіших		2	4

	оптичних сигналів. Частотно-обмежені імпульси.			
11	Лекція 11. Реєстрація надкоротких імпульсів. Нелінійно-оптичні методи реєстрації тривалості надкоротких імпульсів. Функції взаємної кореляції першого та другого порядків.		2	4
12	Лекція 12. Спектрально-часові параметри і фазова чутливість УКІ. Методи реєстрації амплітудно-фазових характеристик УКІ (FROG, SPIDER). Керування формою УКІ.		2	4
13	Лекція 13. Особливості нелінійної взаємодії інтенсивних фемтосекундних імпульсів із середовищем. Генерація білого світла (суперконтинууму). Самостиснення надкоротких імпульсів у волоконних світловодах. Самофокусування і філаментация. Параметричні генератори УКІ.		2	5
14	Лекція 14. Генерація високих гармонік оптичного випромінювання. Генерація аттосекундних імпульсів. Перспективи використання аттосекундних імпульсів. Аттосекундні лазери на вільних електронах.		2	4
15	Лекція 15. Застосування випромінювання фемтосекундних лазерів. Використання фемтосекундного комбу для вимірювання частоти. Реєстрація атомної і молекулярної динаміки. Прецизійна обробка матеріалів. Застосування в біології.		2	4
	ВСЬОГО	15	14	61

Загальний обсяг 90 год.², в тому числі:

Лекцій – **15 год.**

Практичні заняття – **14 год.**

Самостійна робота - **61 год.**

9. Рекомендовані джерела³:

Основна

1. S.Nolte, F.Schrepel, F.Dausinger. Ultrashort Pulse Laser Technology. Laser sources and application. Springer, 2016, 365 p.
2. Laser Pulses – Theory, Technology and applications. I.Peshko edit.Tech, Croatia, 2012, 554 p.
3. Andrew M. Weiner. Ultrafast Optics. J.Willey Inc., 2010, 596p.
4. K.Sugioka, Ya Cheng. REVIEW Ultrafast lasers—reliable tools for advanced materials processing. Nature Light: Science & Applications (2014) 3, e149; doi:10.1038/lssa.2014.30.
5. Allan Mak, Georgii Shamullov, Peter Salen etc. Attosecond single-cycle undulator light: a review. Rep. Prog. Phys. 82 (2019) 025901 (18pp), <https://doi.org/10.1088/1361-6633/aafa35>

Додаткова

1. Armin Scrinzi and Harm Gert Muller. Attosecond Pulses - Generation, Detection and Application. Strong field Laser Physics, edit. T.Brabec. Springer, New York, 2008, pp. 281-300.
2. Matthias Wollenhaupt Dr., Andreas Assion Dr., Thomas Baumert. Femtosecond Laser Pulses - Linear Properties, Manipulation, Generation and Measurement. Springer Handbook of lasers and Optics, edit. Frank Tröger. Springer New York, 2007, pp. 938-983.

² **Загальна кількість годин, відведених на дану дисципліну згідно навчального плану.**

³ **В тому числі Інтернет ресурси**