

Львівський національний університет імені Івана Франка

(повна назва вищого навчального закладу)

Кафедра (предметна, циклова комісія) експериментальної фізики

“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Перший проректор

Височанський В.С.

“ ” 2012 р.

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

НЕЛІНІЙНА ОПТИКА І ЛАЗЕРНА ФІЗИКА

(шифр і назва навчальної дисципліни)

галузі знань 0402 Фізико-математичні науки

(шифр і назва галузі знань)

напряму підготовки

(шифр і назва напряму підготовки)

для спеціальності (тей) 8.04020302 Фізика конденсованого стану

(шифр і назва спеціальності (тей))

спеціалізації

(назва спеціалізації)

факультету

фізичний

(назва факультету)

Кредитно-модульна система
організації навчального процесу

Нелінійна оптика і лазерна фізика. Робоча програма навчальної дисципліни для студентів за напрямом підготовки (спеціальністю) 8.04020302 – Фізика конденсованого стану: Львів: ЛНУ імені Івана Франка, 2012. – 11с.

Розробники:

Довгий Ярослав Остапович, доктор фіз.-мат. наук, професор кафедри експериментальної фізики

Робоча програма затверджена на засіданні кафедри (циклової, предметної комісії) _____
експериментальної фізики

Протокол № ____ від. “ ____ ” _____ 2012 р.

Завідувач кафедрою (циклової, предметної комісії) експериментальної фізики

_____ (Волошиновський А.С.)
(підпис) (прізвище та ініціали)
“ ____ ” _____ 2012 р

Схвалено методичною комісією за напрямом підготовки

Протокол № ____ від. “ ____ ” _____ 2012 р.

“ ____ ” _____ 2012 р. Голова _____ (Миколайчук О.Г.)
(підпис) (прізвище та ініціали)

1. Опис навчальної дисципліни

(Витяг з робочої програми навчальної дисципліни “Недінійна оптика і лазерна фізика”)

Найменування показників	Галузь знань, напрям підготовки, освітньо-кваліфікаційний рівень	Характеристика навчальної дисципліни
		<i>денна форма навчання</i>
Кількість кредитів – 5	Галузь знань <u>0402. фіз.-мат.науки</u> (шифр, назва)	Нормативна
Модулів – 1	Спеціальність: 8.04020302 – Фізика конденсованого стану	<i>Рік підготовки:</i>
		6-й
Змістових модулів – 3		<i>Семестр:</i>
Загальна кількість годин – 180	Освітньо-кваліфікаційний рівень: магістр	11-й
Тижневих годин для денної форми навчання: аудиторних – 3 самостійної роботи студента – 7		<i>Лекції</i>
		36 год.
		<i>Лабораторні</i>
		18 год.
		<i>Самостійна робота</i>
		126 год.
	Вид контролю: залік	

2. Мета та завдання навчальної дисципліни

Мета: ознайомлення з фізичними основами квантової радіофізики і нелінійної оптики та найважливішими характеристиками відповідних приладів. Основна увага приділяється фізиці і техніці лазерів і типовим явищам нелінійної оптики.

Завдання: висвітлення фізичних основ та основних теоретичних засад квантової електроніки і нелінійної оптики, систематичний огляд найновіших експериментальних даних з даного предмета.

В результаті вивчення даного курсу студент повинен

знати:

- історію виникнення квантової електроніки;
- основні фізичні ідеї, що лежать в основі квантових генераторів і підсилювачів;
- характеристики різних типів лазерних активних середовищ;
- системи збудження активних середовищ;
- механізми створення інверсної заселеності рівнів;
- елементи дифракційної теорії оптичних резонаторів;
- конструктивні особливості лазерів різних типів;
- енергетичні характеристики лазерних установок різних типів;
- параметри часової та просторової когерентності;
- характеристики лазерів з керованою добротністю;
- основні положення техніки безпеки при роботі з лазерними установками;
- фізичні основи явищ нелінійної оптики;
- нелінійно-оптичні кристали: симетрійний і технологічний аспекти;
- принципи класифікації явищ нелінійної оптики;
- фізичні механізми нелінійно-оптичних явищ генерації гармонік, вимушеного комбінаційного розсіювання, самофокусування, двофотонного поглинання тощо.
- основні методи теоретичних розрахунків зонних структур кристалів;
- експериментальні оптико-спектральні методи визначення параметрів енергетичної структури кристалів;
- конкретно орієнтуватися щодо величин нелінійних параметрів типових високоефективних нелінійних матеріалів для перетворювачів лазерного випромінювання;
- залежність нелінійних сприйнятливостей від природи хімічних зв'язків у кристалах.

вміти:

- розраховувати питому інверсійність активних середовищ твердотільних лазерів;
- розраховувати ефективності оптичних освітлювачів;
- застосовувати основні прийоми юстування резонаторів, оцінки їх якості та добротності;
- розраховувати оптичні параметри багатошарових лазерних дзеркал;
- аналізувати модову структуру генерації;
- здійснювати селекцію мод;
- здійснювати Q-модуляцію;
- оптимально вибирати тип серійного лазера для поставленої мети;
- розраховувати конструктивні параметри імпульсних твердотільних лазерів;
- вимірювати енергетичні характеристики лазерів;
- вимірювати кути розбіжності лазерного випромінювання;
- визначати ступінь когерентності;
- охарактеризувати структурні та симетрійні особливості високоефективних нелінійно-оптичних матеріалів.
- експериментально визначати нелінійні коефіцієнти методом генерації другої гармоніки, кути фазового синхронізму та вікна прозорості нелінійних кристалів;

- здійснювати теоретичну оцінку величин нелінійних параметрів за параметрами енергетичної зонної структури на основі різних модельних підходів;
- визначати оптико-спектральним методом параметри лінійних і нелінійних ефективних осциляторів;
- прогнозувати шляхи покращення параметрів нелінійних матеріалів методом заміни компонентів сполук, зміни концентрації твердих розчинів, радіаційної обробки тощо.

3. Програма навчальної дисципліни

Змістовий модуль 1.

Основи лазерної фізики

Тема 1. Фізичні основи лазерів

Спонтанне та індуковане випромінювання. Коефіцієнти Ейнштейна. Інверсна заселеність енергетичних станів. Підсилення світла. Умова самозбудження оптичного резонатора. Розрахунок порогової критичної інверсності заселення робочих рівнів. Методи визначення відносної заселеності метастабільного рівня. Принципи дії лазерів та оптичних підсилювачів.

Змістовий модуль 2.

Типи лазерів

Тема 2. Активні середовища лазерів

Основні вимоги до лазерних активних середовищ. Активація. Сенсibilізація активних середовищ. Рубін, кристалічна структура і властивості. Енергетична схема і спектри рубіна. Вплив температури, концентрації хрому, електричного і магнітного полів на спектри рубіна. Кристали з домішками 3-валентних рідкісноземельних іонів. Діаграми енергетичних рівнів. Спектри неодимових лазерних матеріалів. Кристали з домішками 2-валентних рідкісноземельних іонів та іонів урану. Лазери на центрах забарвлення. Характеристика та енергетичні схеми активних середовищ газових лазерів: гелій-неонових, аргонових, гелій-кадмієвих, молекулярних лазерів на CO₂ та ін. Активні середовища напівпровідникових лазерних кристалів. Активні середовища рідинних лазерів. Ексімерні лазери. Лазери на вільних електронах. Вибір розміру активного елемента (на прикладі твердотілого лазера). Спектральні методи діагностики активних середовищ. Активні середовища на основі наноструктурованих матеріалів. Нанолазери.

Тема 3. Системи збудження в різних типах лазерів

Оптичне збудження. Характеристики імпульсних ламп. Лазери як джерела збудження. Лазерні освітлювачі (одно- і багатоелементні, циліндричні круглого перерізу та ін.). Розрахунок їх ефективності. Розподіл енергії оптичного збудження всередині активного зразка (теорія і експеримент). Газорозрядне збудження. Основні процеси в газовому розряді і методи одержання інверсної заселеності. Ефект Лемба-Беннета. Інжекція нерівноважних носіїв струму в напівпровідниках. Інші методи збудження лазерних активних елементів.

Тема 4. Оптичні резонатори

Елементи хвильової теорії відкритих резонаторів. Моді коливань резонатора. Добротність резонатора при урахуванні різних видів енергетичних втрат. Експериментальне визначення енергетичних втрат резонатора. Резонатори з плоскими дзеркалами. Конфокальні резонатори. Кільцеві та дисперсійні резонатори. Порівняльна характеристика оптичних резонаторів різних типів. Дзеркала резонаторів.

Тема 5. Властивості лазерного випромінювання

Енергетичні характеристики лазерного випромінювання. Потужність безперервної генерації. Особливості і характеристики імпульсного режиму. Енергетичні характеристики напівпровідникових інжекційних лазерів. Когерентність лазерного випромінювання. Частотна та просторова когерентність. Модова структура і спектр генерації. Методи регулювання довжиною хвилі генерації. Поляризація лазерного випромінювання. Просторова індикатриса лазерного випромінювання. Пічкова структура. Моноімпульси генерації та надкороткі лазерні імпульси.

Тема 6. Лазери з керованою добротністю

Принцип Q-модуляції. Активні і пасивні модулятори добротності лазерів. Основні характеристики лазерів з керованою добротністю.

Тема 7. Оптичні підсилювачі

Основні закономірності процесу оптичного підсилення. Енергетичні характеристики оптичних підсилювачів. Параметри оптичних підсилювачів серійного виробництва.

Змістовий модуль 3.

Явища нелінійної оптики

Тема 8. Фізичні основи і класифікація явищ нелінійної оптики

Нелінійна поляризація діелектриків. Симетричні аспекти нелінійно-оптичних явищ. Лінійні та нелінійні сприйнятливості.

Тема 9. Огляд найважливіших нелінійно-оптичних ефектів

Генерація гармонік оптичного діапазону. Умови фазового синхронізму. Параметрична генерація світла. Вимушене комбінаційне розсіювання. Самофокусування оптичних променів. Багатофотонні процеси. Нелінійна оптична активність. Обернення хвильового фронту. Основні поняття про оптичну бістабільність. Ефекти нелінійної оптики в наноструктурованих матеріалах.

Тема 10. Феноменологічні моделі в нелінійній оптиці

Природа хімічних зв'язків у кристалах та нелінійні оптичні сприйнятливості. Моделі Філіпса-Ван-Вехтена, Гаррісона і Левіна. Експериментальні методи визначення нелінійних оптичних параметрів.

Тема 11. Основні наближення при розрахунках зонної структури нелінійних кристалів

Одноелектронні методи зонних розрахунків. Основні наближення при розрахунках зон нелінійних кристалів. Теоретико-груповий аналіз при побудові зонної структури.

Тема 12. Оптичні функції та зонна структура нелінійних кристалів

Оптичні функції та дисперсійний аналіз Крамерса-Кроніга. Ідентифікація зона-зонних переходів. Зонні діаграми, лінійні та нелінійні осцилятори характерних ацентричних кристалів.

Тема 13. Електронна будова та дисперсія нелінійних сприйнятливостей найважливіших типів ацентричних кристалів

Діелектрична теорія сприйнятливостей. Дисперсія нелінійнооптичних коефіцієнтів. Обчислення та аналіз відповідних матричних елементів, зіставлення з експериментальними даними.

4. 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	ср		л	п	лаб	інд	ср
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Модуль 1												
Змістовий модуль 1. Фізичні основи квантової електроніки. Основні прилади квантової електроніки												
Тема 1. Фізичні основи лазерів		4		2		10						
Разом – зм. модуль 1		4		2		10						
Змістовий модуль 2. Типи лазерів												
Тема 2. Активні середовища лазерів		4		4		10						
Тема 3. Системи збудження в різних типах лазерів		4				9						
Тема 4. Оптичні резонатори		2				9						
Тема 5. Властивості лазерного випромінювання		4		4		10						
Тема 6. Лазери з керованою добротністю		2				9						
Тема 7. Оптичні підсилювачі		2				9						
Разом – зм. модуль 2		18		8		56						
Змістовий модуль 3. Явища нелінійної оптики												
Тема 8. Фізичні основи і класифікація явищ нелінійної оптики		2		4		10						
Тема 9. Огляд найважливіших нелінійно-оптичних ефектів		2		4		10						
Тема 10. Феноменологічні моделі в нелінійній оптиці		2				10						
Тема 11. Основні наближення при розрахунках зонної структури нелінійних кристалів		2				10						

Тема 12. Оптичні функції та зонна структура нелінійних кристалів		2			10						
Тема 13. Електронна будова та дисперсія нелінійних сприйнятливостей найважливіших типів ацентричних кристалів		4			10						
Разом – зм. модуль 3		14		8	60						
Усього годин											
		36		18	126						

5. Темі семінарських занять

Семінарські заняття у курсі не передбачені.

6. Темі практичних занять

Практичні заняття в курсі не передбачені.

7. Темі лабораторних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Вступне заняття	2
2	Вивчення принципу роботи лазерного еліпсометра ЛЕФ-3М та визначення показників заломлення кристалів	4
3	Визначення довжини світлової хвилі та тривалості імпульса генерації азотного лазера ЛГИ-21	4
4	Вивчення принципу роботи твердотільного лазера з генерацією на другій гармоніці випромінювання	4
5	Заключне заняття	4
	Разом	18

8. Самостійна робота

№ з/п		Кількість годин
1	Підготовка наукового реферата за вибраною темою (перелік тем подано нижче)	40
2	Підготовка до лабораторних робіт	33
3	Опрацювання отриманих експериментальних результатів і підготовка звіту про виконання лабораторних робіт	33
4	Підготовка до колоквиуму	20
	Разом	126

Темі наукових рефератів, що даються студентам на вибір:

1. Сучасні рубінові лазери.
2. Сучасні неодимові лазери.
3. Сучасні рідинні лазери.
4. Сучасні напівпровідникові лазери.
5. Сучасні ексимерні лазери.
6. Лазери на вільних електронах.
7. Лазери на випарних металах.
8. Азотні лазери.
9. CO₂-лазери.
10. Аргонові лазери.
11. Методи модуляції лазерного випромінювання.
12. Типи оптичних резонаторів.
13. Методи одержання надкоротких лазерних імпульсів.
14. Резонатори з керованою добротністю.
15. Методи керування частотою генерації.
16. Оптичні підсилювачі.
17. Класифікація явищ нелінійної оптики.
18. Нелінійно-оптичні кристали і функціональні елементи на їх основі.

19. Параметрична генерація світла.
20. Явище вимушеного комбінаційного розсіювання світла.
21. Багатофотонні процеси.
22. Схеми генерації другої гармоніки.
23. Фазовий синхронізм у кристалах з двоприменезаломленням.
24. Ніобат літію як нелінійно-оптичний кристал.
25. Високоєфективні нелінійнооптичні кристали типу оксидів боратів.
26. Явище самофокусування оптичних променів.
27. Нелінійні оптичні явища у наноструктурах.
28. Дисперсія нелінійних коефіцієнтів: теорія і експеримент.
29. Природа хімічних зв'язків і нелінійні сприйнятливості кристалів.
30. Історія нелінійної оптики.

9. Індивідуальне навчально - дослідне завдання

Індивідуальне навчально-дослідне завдання у цьому курсі не передбачено.

10. Методи контролю

Поточний контроль (контрольна перевірка знань (колоквиум) за змістовими модулями – 30 балів, робота на лекціях – 15 балів, робота на лабораторних заняттях – 45 балів, реферат – 10 балів – разом за семестр 100 балів. Сумарна оцінка, таким чином, виставляється за 100-бальною шкалою.

11. Розподіл балів, що присвоюється студентам

Розподіл балів, які отримують студенти (для заліку)

Поточне тестування та самостійна робота									Наук. реферат	Сума
Змістовий модуль 1			Змістовий модуль 2			Змістовий модуль 3				
Л	Лаб	К	Л	Лаб	К	Л	Лаб	К	10	100
5	15	10	5	15	10	5	15	10		

Л – робота на лекціях; Лаб – робота на лабораторних заняттях; К – контрольна перевірка знань.

Шкала оцінювання: Університету , національна та ECTS

Оцінка в балах	Оцінка ECTS	Визначення	За національною шкалою	
			Екзаменаційна оцінка, оцінка з диференційованого заліку	Залік
90 – 100	A	Відмінно	Відмінно	Зараховано
81-89	B	Дуже добре	Добре	
71-80	C	Добре		
61-70	D	Задовільно	Задовільно	
51-60	E	Достатньо		

12. Методичне забезпечення

1. Довгий Я.О. Лазерний практикум. Навчальний посібник. Львів: В-во ЛНУ, 2004. –210с.

13. Рекомендована література

Базова

1. Білий М.У. Основи нелінійної оптики та її застосування. Навч. посібник. К.: Вид. центр "Київський Університет", 1999. – 172 с.
2. Байбородин Ю.В. Основы лазерной техники. К.: "Вища школа", 1988. – 383 с.
3. Григорук В.І., Коротков П.А., Хижняк А.І. Лазерна фізика. К., 1997. – 480 с.
4. Довгий Я.О., Кітик І.В. Електронна будова і оптика нелінійних кристалів. Львів: "Світ", 1996. – 176 с.
5. Звелто О. Принцип лазеров. М.: "Мир", 1984. – 408 с.
6. Карлов Н.В. Лекции по квантовой электронике. М.: "Наука", 1988. – 336 с.
7. Качмарек Ф. Введение в физику лазеров. М.: "Мир", 1981. – 540 с.
8. Милославский В.К. Нелинейная оптика. Х.: Вид. центр ХНУ, 2008. – 312 с.
9. Шен И.Р. Принципы нелинейной оптики. М.: „Мир”, 1989. – 560 с.
10. Ярив А. Квантовая электроника и нелинейная оптика. Перевод с англ. М.: "Сов. радио", 1973. – 456 с.

Допоміжна

1. Дмитриев В.Г., Тарасов Л.В. Прикладная нелинейная оптика. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: "Физматлит", 2004. – 512 с.
2. Справочник по лазерной технике. Перевод с нем. М.: "Энергоатомиздат", 1991. – 544 с.
3. Цернике Ф., Мидвинтер Дж. Прикладная нелинейная оптика. М.: "Мир", 1976. – 262 с.

14. Інформаційні ресурси

1. Щомісячний журнал „Квантовая электроника” (у Львові цей журнал регулярно отримує Наукова бібліотека ім. В.Стефаника).
2. Матеріали з Інтернету.