

ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
«УЖГОРОДСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»
ФІЗИЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА КВАНТОВОЇ ЕЛЕКТРОНІКИ



«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Проректор з наукової роботи

/ Студеняк І.П./

«28» вересня 2020 року

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

НЕЛІНІЙНІ ЯВИЩА В ПОЛІ ЛАЗЕРНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

Рівень вищої освіти	третій (освітньо-науковий)
Галузь знань	10 «Природничі науки»
Спеціальність	104 «Фізика та астрономія»
Освітня програма	Фізика та астрономія
Статус дисципліни	вибіркова
Мова навчання	Українська

Ужгород 2020

Робоча програма навчальної дисципліни «Нелінійні явища в полі лазерного випромінювання» для здобувачів вищої освіти ступеня доктора філософії галузі знань **10 Природничі науки** спеціальності **104 Фізика та астрономія** освітньої програми **Фізика та астрономія**.

Розробники: Шуаїбов О.К., д.ф.-м.наук, професор,

Суран В.В., с.н.с., д.-ф.м.н., професор

Робочу програму розглянуто та затверджено на засіданні кафедри квантової електроніки

протокол № 1 від « 3 » вересня 2020 р.

Завідувач кафедри


(підпис)

Шафраньош І.І.

Схвалено науково-методичною комісією фізичного факультету

протокол № 1 від « 23 » вересня 2020 р.

Голова науково-методичної комісії



Карбованець М.І.

1. ОПИС НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Найменування показників	Розподіл годин за навчальним планом	
	Денна форма навчання	Заочна форма навчання
Кількість кредитів ЄКТС – 7	Рік підготовки:	
Загальна кількість годин – 210	1-й	1-й
Кількість модулів – 2	Семестр:	
Тижневих годин для денної форми навчання: аудиторних – 3 самостійної роботи аспіранта – 4	1,2	1,2
	Лекції:	
	40	16
	Практичні (семінарські):	
	44	8
Вид підсумкового контролю: залік, екзамен	Лабораторні:	
Форма підсумкового контролю: усна	Самостійна робота:	
	126	186

2. МЕТА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Метою вивчення навчальної дисципліни «**Нелінійні явища в полі лазерного випромінювання**» є: вивчення та отримання системних знань аспірантом основних фізичних явищ, які лежать в основі взаємодії лазерного випромінювання з речовиною; засвоєння методики проведення фізичного експерименту та фізичних досліджень нелінійних явищ у речовині (у твердих тілах, рідинах, газах та в атомах), а також методики розрахунку цих явищ та моделювання їх реалізації.

Відповідно до освітньої програми, вивчення дисципліни сприяє формуванню у аспірантів таких компетентностей:

	Шифр ПРН
1. Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу	ЗК-1
2. Навички використання новітніх інформаційних і комунікаційних технологій	ЗК-2
3. Здатність проведення самостійних досліджень на сучасному рівні	ЗК-3
4. Здатність до пошуку, обробки на аналізу інформації з різних джерел	ЗК-4
5. Здатність генерувати нові ідеї (креативність)	ЗК-5
6. Здатність працювати в міжнародному науковому просторі	ЗК-6
7. Здатність розробляти та управляти науковими проектами	ЗК-7
8. Здатність до планування часу	ЗК-8
9. Здатність до роботи в команді, вміння мотивувати інших у просуванні до спільної мети	ЗК-9
10. Здатність комунікації на фахову тематику з нефаківцями	ЗК-10

3. ПЕРЕДУМОВИ ДЛЯ ВИВЧЕННЯ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Передумовами вивчення навчальної дисципліни «**Нелінійні явища в полі лазерного випромінювання**» є опанування таких навчальних дисциплін як оптика, лазерна фізика, атомна фізика

4. ОЧІКУВАНІ РЕЗУЛЬТАТИ НАВЧАННЯ

Відповідно до освітньої програми «**Нелінійні явища в полі лазерного випромінювання**», вивчення навчальної дисципліни повинно забезпечити досягнення аспірантом таких програмних результатів навчання (ПРН): знання, уміння, навички, способи мислення, погляди

Програмні результати навчання	Шифр ПРН
Знання	
1. Сучасні передові концептуальні та методологічні знання в галузі фізики і астрономії та суміжних галузей знань.	ПРН 1.1
2. Фундаментальні праці провідних зарубіжних вчених та наукових шкіл у галузі дослідження.	ПРН 1.2
3. Принципи планування та фінансування науково-дослідної роботи, структура кошторисів на її виконання	ПРН 1.3
Уміння	
1. Формулювати мету власного наукового дослідження в контексті світового наукового процесу, усвідомлювати його актуальність і значення для розвитку інших галузей науки, суспільно-політичного, економічного життя.	ПРН 2.1
2. Формулювати загальну методологічну базу власного наукового дослідження.	ПРН 2.2
3. Проводити комплексні дослідження в галузі науково-дослідницької та інноваційної діяльності, які приводять до отримання нових знань.	ПРН 2.3
4. Формувати команду дослідників для вирішення локальної задачі (формулювання дослідницької проблеми, робочих гіпотез, збору інформації,	ПРН 2.4

підготовки пропозицій).	
5. Формулювати наукову проблему з огляду на стан її наукової розробки та сучасні наукові тенденції.	ПРН 2.5
6. Формулювати робочі гіпотези та моделі досліджуваної проблеми.	ПРН 2.6
7. Аналізувати наукові праці в галузі сучасної фізики, виявляючи дискусійні та мало досліджені питання.	ПРН 2.7
8. Здійснювати моніторинг наукових джерел інформації відносно досліджуваної проблеми.	ПРН 2.8
9. Визначати інформаційну цінність джерел шляхом порівняльного аналізу з іншими джерелами.	ПРН 2.9
10. Визначати принципи та методи дослідження, використовуючи міждисциплінарні підходи.	ПРН 2.10
11. Готувати запити на отримання фінансування, звітну документацію	ПРН 2.11
Комунікація	
1. Вести спілкування в діалоговому режимі з широкою науковою спільнотою та громадськістю в галузі фізики та астрономії.	ПРН 3.1
2. Кваліфіковано відображати результати наукових досліджень у наукових статтях у фахових виданнях, вести конструктивний діалог з рецензентами та редакторами.	ПРН 3.2
3. Професійно презентувати результати своїх досліджень на міжнародних наукових конференціях, семінарах, практично використовувати іноземну мову (в першу чергу - англійську) у науковій, інноваційній та педагогічній діяльності.	ПРН 3.3
4. Ефективно працювати в команді, мати навички міжособистісної взаємодії.	ПРН 3.4
5. Уміти використовувати сучасні інформаційні та комунікативні технології при спілкуванні, обміні інформацією, зборі, аналізі, обробці, інтерпретації джерел.	ПРН 3.5
Автономія та відповідальність	
1. Ініціювати наукові та інноваційні комплексні проекти в галузі фізики та астрономії, лідерство та автономність під час їх реалізації.	ПРН 4.1
2. Діяти, дотримуючись принципів соціальної відповідальності, на основі етичних міркувань (мотивів).	ПРН 4.2
3. Самовдосконалюватися, нести відповідальність за новизну наукових досліджень та прийняття експертних рішень.	ПРН 4.3
4. Приймати обґрунтовані рішення, мотивувати людей та рухатися до спільної мети	ПРН 4.4

Очікувані результати навчання, які повинні бути досягнуті аспірантом після опанування навчальної дисципліни «Нелінійні явища в полі лазерного випромінювання»:

Очікувані результати навчання з дисципліни	Шифр ПРН
1. Здатність проведення самостійних досліджень на сучасному рівні	ОР-1
2. Здатність до пошуку, обробки на аналізу інформації з різних джерел	ОР-2
3. Здатність генерувати нові ідеї	ОР-3
4. Здатність працювати в міжнародному науковому просторі	ОР-4
5. Здатність розробляти та управляти науковими проектами	ОР-5
6. Здатність до планування часу	ОР-6
7. Здатність до роботи в команді, вміння мотивувати інших у просуванні до спільної мети	ОР -7
8. Здатність комунікації на фахову тематику з фахівцями та не з фахівцями	ОР -8

5, ЗАСОБИ ДІАГНОСТИКИ ТА КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ НАВЧАННЯ

Засобами оцінювання та методами демонстрування результатів навчання з навчальної дисципліни є:

- поточний контроль успішності,
- модульний контроль,
- підсумковий контроль

Форми контролю та критерії оцінювання результатів навчання

Форми поточного контролю: опитування під час лекцій

Форма модульного контролю: написання модулів

Форма підсумкового семестрового контролю: письмовий залік або екзамен

Розподіл балів, які отримують здобувачі вищої освіти (модуль 1)

Поточне оцінювання та самостійна робота								Модульна контрольна робота	Сума
T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7		1	100
10	10	10	10	20	20	20			

T1, T2 ... – теми

Розподіл балів, які отримують здобувачі вищої освіти (модуль 2)

Поточне оцінювання та самостійна робота								Модульна контрольна робота	Сума
T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	2	100
10	10	10	10	10	10	20	20		

Критерії оцінювання підсумкового семестрового контролю

Залік проводиться в усній формі шляхом співбесіди. Результати заліку оцінюються за двобальною шкалою: „зараховано, „незараховано”.

Підсумкова оцінка " зараховано"/"не зараховано" визначається наступними критеріями:

- " зараховано" - якщо аспірант достатньо чітко і грамотно відповідає на питання в межах матеріалу викладеного у рамках лекційних занять, може показати та обґрунтувати взаємозв'язок різних частин матеріалу, пройденого у межах матеріалу навчальної дисципліни; демонструє здатність до мислення, при відповіді на питання розмірковує, спираючись на отримані у рамках курсу знання, не допускає істотних неточностей у відповіді, правильно вибудовує логіку вирішення типових завдань;

- "не зараховано" - якщо аспірант викладає основні питання недостатньо чітко або допускає істотні помилки при їх викладі, не може пояснити зв'язків у рамках викладеного матеріалу, аспірант не знає значної частини програмного матеріалу, не може дати точних визначень понять, пройдених у рамках курсу, дає розпливчаті формулювання і не володіє в належній мірі термінологією, плутається при відповіді на додаткові питання, не володіє прийомами вирішення типових завдань.

За бажанням аспіранта результуюча підсумкова залікова оцінка може бути визначена як інтегрована оцінка засвоєння всіх тем дисципліни і кількісно дорівнює середньому арифметичному балів, отриманих за кожний модуль.

Екзамен проводиться в усній формі шляхом співбесіди. Результати екзамену оцінюються за чотирибальною шкалою: „відмінно”, „добре”, „задовільно”, „незадовільно”.

Оцінка „відмінно” виставляється в тому разі, коли аспірант бездоганно оволодів всіма розділами програми, дав глибокі, чіткі і вичерпні відповіді на всі основні і додаткові запитання, виявив розуміння фізичної суті програмового матеріалу, вільне володіння фактичним матеріалом та відповідним математичним апаратом, вміння грамотно обробляти результати експериментальних вимірювань з метою отримання заданої точності отриманих даних, кваліфіковано використовувати набуті знання для розв’язання конкретних практичних задач.

Оцінка „добре” виставляється тоді, коли аспірант виявив повне знання і розуміння програмового матеріалу, добре оволодів математичним апаратом курсу, може використовувати набуті знання в практичній діяльності, дав вичерпні відповіді на всі запитання, але під час відповіді допускав окремі нечіткі формулювання і незначні неточності.

Оцінка „задовільно” виставляється в тому разі, коли аспірант в основному знає і розуміє фактичний матеріал курсу, дав в основному правильні відповіді на запитання, виявив уміння розібратися в усьому матеріалі курсу, вміння використовувати відповідний математичний апарат, але не може ґрунтовно пояснити окремі положення пройденого курсу, допускає неточності при використанні математичного апарату, недостатньо вміє застосовувати набуті знання для розв’язання конкретних практичних задач.

Оцінка „незадовільно” виставляється тоді, коли аспірант не оволодів матеріалом даного курсу, виявив суттєві прогалини в знаннях основного програмового матеріалу, коли він під час відповіді на запитання виявив нерозуміння фізичної сутності основних понять та термінів навчальної дисципліни, допускає плутанину, слабо володіє математичним апаратом, не може застосовувати набуті знання для розв’язування конкретних практичних задач, тобто виявив відсутність мінімально необхідної кількості знань з даного курсу.

За бажанням аспіранта результуюча підсумкова екзаменаційна оцінка може бути визначена як інтегрована оцінка засвоєння всіх тем дисципліни і кількісно дорівнює середньому арифметичному балів, отриманих за кожний модуль.

Переведення результатів, отриманих за 100-бальною шкалою оцінювання в національну 4-х бальну та шкалу за системою ECTS здійснюється за наступною схемою:

Оцінка за шкалою балів	Залік	ECTS	
		Оцінка	Характеристика
90 та вище	зараховано	A	відмінно
82-89 74-81	зараховано	B	добре
	зараховано	C	добре
64-73	зараховано	D	задовільно
60-64	зараховано	E	задовільно
35-59	незараховано	FX	незадовільно з можливістю перескладання
1-34	незараховано	F	незадовільно з обов'язковим повторним навчанням

Оцінювання окремих видів навчальної роботи з дисципліни

Вид діяльності здобувача вищої освіти	Модуль 1		Модуль 2	
	Кількість	Максимальна кількість балів (сумарна)	Кількість	Максимальна кількість балів (сумарна)
Практичні (семінарські) заняття	15	30	15	30
Лабораторні заняття (допуск, виконання та захист)				
Комп'ютерне тестування при тематичному оцінюванні				
Письмове тестування при тематичному оцінюванні				
...				
Презентація				
Реферат	1	10	1	10
Есе				
...				
Модульна контрольна робота		60		60
Разом		100		100

6 ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

6.1 Зміст навчальної дисципліни

Модуль 1

Тема 1. Вступ. Предмет та задачі нелінійної оптики. Основні етапи розвитку нелінійної оптики і науково технічний прогрес. Основні характеристики лазерного випромінювання. Атомна система одиниць.

Тема 2. Поляризація середовища, поляризованість та сприйнятливості для змінного поля. Зв'язок між поляризацією середовища та напруженістю електромагнітного поля в ізотропних середовищах та кристалах. Лінійна та нелінійна поляризація, сприйнятливості.

Тема 3 Класична модель гармонічного та ангармонічного осцилятора. Залежність показника заломлення від частоти. Сила осцилятора

Тема 4 Рівняння Максвелла для лінійних та нелінійних середовищ

Тема 5 Квантові представлення взаємодії випромінювання і речовини. Повний гамільтоніан системи: випромінювання – речовина. Залежність показника заломлення від частоти. Сила осцилятора

Тема 6 Дворівнева система в інтенсивному електромагнітному полі. Умови реалізації миттєвого та адиабатичного включення світлового поля. Виникнення квазіенергій в системі атом + поле. Частота Рабі

Тема 7 Селективна дія лазерного випромінювання на атоми. Оптимальні умови збудження та іонізації атомів. Лазерне розділення ізотопів атомів та параметри лазерів для розділення ізотопів

Тема 8. Фізичні основи нелінійної оптики газоподібних середовищ.

Тема 9. Потужні ексімерні і експлексні лазери в нелінійно-оптичних системах перетворень частоти лазерної генерації в рентгєвську область спектру.

Тема 10. Фізика і техніка рєнгєвських лазерів за рахунок перетворєння частоти в газах і парах хїмїчних елементів в генерації на частотах 8-12 гармонїк.

Модуль 2

Тема 1. Прямий процес багатофотонної іонізації атомів. Імовірність процесу багатофотонної іонізації. Метод визначєння ефективного перєрїзу ...

Тема 2. Резонансний процес багатофотонної іонізації атомів. Імовірність багатофотонного збудження та іонізації у випадку реалізації резонансного процесу. Правила відбору при багатофотонному збудженні рївнїв. Резонанснї процеси в полі випромїнювань одного та двох лазерних випромїнювань. Метод ідентифїкації резонансних максимумів. ...

Тема 3 Збурєння рївнїв в полі лазерного випромїнювання. Залежність динамїчної поляризованостї основного та резонансного рївнїв від частоти. Метод визначєння динамїчної поляризованостї.

Тема 4. Утворєння дво- та багатозарядних іонїв при багатофотоннїй іонїзації атомїв. Механїзми утворєння двозарядних іонїв при багатофотоннїй іонїзації атомїв та методи їх дослїдження.

Тема 5. Нелїнійна поляризація другого порядку. Оптичне детектування. Фїзичнї процеси, якї зумовлюють генерацію другої гармонїки. Фазовий синхронїзм. Довжина когерентностї. Фазовий синхронїзм. Метод реалїзації фазового синхронїзму в кристалах при генерації другої гармонїки.

Тема 6. Трихвильова параметрична взаємодїя світлових хвиль в нелїнійному середовищі. Фазовий синхронїзм. Параметричнї генератори світла. Умови синхронїзму.

Тема 7. Умова реалїзації вимушеного процесу. Явище вимушеного комбїнацїйного розсїювання світла..

Тема 8. Умова реалїзації вимушеного процесу. Явище вимушеного розсїювання світла на акустичних хвильях (Мандельштама-Брїллоєна).

Тема 9. Потужнї CO₂ – і CO – лазери з ультракороткими їмпульсами генерації в системах нелїнійно-оптичних перетворєнь частоти.

Тема 10. Фїзика і техніка сучасних ВКР-лазерїв на електронно-коливальних переходах двоатомних молекул.

6.2 Структура навчальної дисципліни

Назви змістових модулів і тем	Кількість годин 180				
	Форма навчання: денна				
	Усього	у тому числі			
лекції		практичні (семінарські)	лабораторні	індивідуальна робота	самостійна робота
1-й семестр					
Модуль 1					
Тема 1. Вступ. Предмет та задачі нелінійної оптики. Основні етапи розвитку нелінійної оптики і науково-технічний прогрес. Основні характеристики лазерного випромінювання. Атомна система одиниць.	10	2	2		6
Тема 2. Поляризація середовища, поляризованість та сприйнятливість для змінного поля. Зв'язок між поляризацією середовища та напруженістю електромагнітного поля в ізотропних середовищах та кристалах. Лінійна та нелінійна поляризація, сприйнятливість	10	2	2		6
Тема 3 Класична модель гармонічного та ангармонічного осцилятора. Залежність показника заломлення від частоти. Сила осцилятора.	12	2	2		8
Тема 4 Рівняння Максвелла для лінійних та нелінійних середовищ.	12	2	2		8
Тема 5. . Нелінійна поляризація другого порядку. Оптичне детектування. Фізичні процеси, які зумовлюють генерацію другої гармоніки. Фазовий синхронізм. Довжина когерентності. Фазовий синхронізм. Метод реалізації фазового синхронізму в кристалах при генерації другої гармоніки.	12	2	2		8
Тема 6 Дворівнева система в інтенсивному електромагнітному полі. Умови реалізації миттєвого та адиабатичного включення світлового поля. Виникнення квазіенергій в системі атом + поле. Частота Рабі.	12	2	2		8
Тема 7 Селективна дія лазерного випромінювання на атоми. Оптимальні умови збудження та іонізації атомів. Лазерне розділення ізотопів атомів та параметри лазерів для розділення ізотопів.	12	2	2		8
Тема 8. Фізичні основи нелінійної оптики газоподібних середовищ.					
Тема 9. Потужні ексимерні і ексіплексні лазери в нелінійно-оптичних системах перетворень частоти лазерної генерації в рентгенівську область спектру.	8	2	2		4
Тема 10. Фізика і техніка рентгенівських лазерів за рахунок перетворення частоти в газах і парах хімічних елементів в генерації на частотах 8-12 гармонік.	10	2	2		6

Модульна контрольна робота					
Разом за модуль	110	20	22		68
Модуль 2					
Тема 1 Прямий процес багатофотонної іонізації атомів. Імовірність процесу багатофотонної іонізації. Метод визначення ефективного перерізу ...	6	2	2		2
Тема 2. Резонансний процес багатофотонної іонізації атомів. Імовірність багатофотонного збудження та іонізації у випадку реалізації резонансного процесу. Правила відбору при багатофотонному збудженні рівнів. Метод ідентифікації резонансних максимумів...	10	2	2		6
Тема 3 Збурення рівнів в полі лазерного випромінювання. Залежність динамічної поляризованості основного та резонансного рівнів від частоти. Метод визначення динамічної поляризованості	12	2	2		8
Тема 4. Утворення дво- та багатозарядних іонів при багатофотонній іонізації атомів. Механізми утворення двозарядних іонів при багатофотонній іонізації атомів та методи їх дослідження.	10	2	2		6
Тема 5. Нелінійна поляризація другого порядку. Оптичне детектування. Фізичні процеси, які зумовлюють генерацію другої гармоніки. Фазовий синхронізм. Довжина когерентності. Фазовий синхронізм. Метод реалізації фазового синхронізму в кристалах при генерації другої гармоніки.	12	2	2		8
Тема 6. Трихвильова параметрична взаємодія світлових хвиль в нелінійному середовищі. Фазовий синхронізм. Параметричні генератори світла. Умови синхронізму.	10	2	2		6
Тема 7. Умова реалізації вимушеного процесу. Явище вимушеного комбінаційного розсіювання світла..	12	2	2		8
Тема 8. Умова реалізації вимушеного процесу. Явище вимушеного розсіювання світла на акустичних хвилях (Мандельштама-Бріллюена).	10	2	2		6
Тема 9. Потужні CO ₂ – і CO – лазери з ультракороткими імпульсами генерації в системах нелінійно-оптичних перетворень частоти.	10	2	2		6
Тема 10. Фізика і техніка сучасних ВКР-лазерів на електронно-коливальних переходах двоатомних молекул.	12	2	2		8
Модульна контрольна робота					
Разом за модуль	110	20	22		68
Разом за семестр	220	40	44		136

Заочна форма навчання

Назви змістових модулів і тем	Кількість годин 210				
	Форма навчання: денна				
	Усього	у тому числі			
лекції		практичні (семінарські)	лабораторні	індивідуальна робота	самостійна робота
1-й семестр					
Модуль 1					
Тема 1. Вступ. Предмет та задачі нелінійної оптики. Основні етапи розвитку нелінійної оптики і науково-технічний прогрес. Основні характеристики лазерного випромінювання. Атомна система одиниць.	10	0	0		10
Тема 2. Поляризація середовища, поляризованість та сприйнятливості для змінного поля. Зв'язок між поляризацією середовища та напруженістю електромагнітного поля в ізотропних середовищах та кристалах. Лінійна та нелінійна поляризація, сприйнятливості	12	2	0		10
Тема 3 Класична модель гармонічного та ангармонічного осцилятора. Залежність показника заломлення від частоти. Сила осцилятора.	10	0	0		10
Тема 4 Рівняння Максвелла для лінійних та нелінійних середовищ.	10	0	0		10
Тема 5. . Нелінійна поляризація другого порядку. Оптичне детектування. Фізичні процеси, які зумовлюють генерацію другої гармоніки. Фазовий синхронізм. Довжина когерентності. Фазовий синхронізм. Метод реалізації фазового синхронізму в кристалах при генерації другої гармоніки.	14	2	0		8
Тема 6 Дворівнева система в інтенсивному електромагнітному полі. Умови реалізації миттєвого та адиабатичного включення світлового поля. Виникнення квазіенергій в системі атом + поле. Частота Рабі.	10	0	0		10
Тема 7 Селективна дія лазерного випромінювання на атоми. Оптимальні умови збудження та іонізації атомів. Лазерне розділення ізотопів атомів та параметри лазерів для розділення ізотопів.	10	0	0		9
Тема 8. Фізичні основи нелінійної оптики газоподібних середовищ.	14	2	2		8
Тема 9. Потужні ексімерні і ексіплексні лазери в нелінійно-оптичних системах перетворень частоти лазерної генерації в рентгенівську область спектру.		2	0		6
Тема 10. Фізика і техніка рентгенівських лазерів за рахунок перетворення частоти в газах і парах хімічних елементів в генерації на частотах 8-12 гармонік.		0	0		8
Модульна контрольна робота	0	0			
Разом за модуль	105	8	4		93
Модуль 2					

Тема 1 Прямий процес багатофотонної іонізації атомів. Імовірність процесу багатофотонної іонізації. Метод визначення ефективного перерізу ...	10	0	0			10
Тема 2. Резонансний процес багатофотонної іонізації атомів. Імовірність багатофотонного збудження та іонізації у випадку реалізації резонансного процесу. Правила відбору при багатофотонному збудженні рівнів. Метод ідентифікації резонансних максимумів...	12	0	2			10
Тема 3 Збурення рівнів в полі лазерного випромінювання. Залежність динамічної поляризованості основного та резонансного рівнів від частоти. Метод визначення динамічної поляризованості	10	0	0			10
Тема 4. Утворення дво- та багатозарядних іонів при багатофотонній іонізації атомів. Механізми утворення двозарядних іонів при багатофотонній іонізації атомів та методи їх дослідження.	8	0	0			8
Тема 5. Нелінійна поляризація другого порядку. Оптичне детектування. Фізичні процеси, які зумовлюють генерацію другої гармоніки. Фазовий синхронізм. Довжина когерентності. Фазовий синхронізм. Метод реалізації фазового синхронізму в кристалах при генерації другої гармоніки.	10	0	0			10
Тема 6. Трихвильова параметрична взаємодія світлових хвиль в нелінійному середовищі. Фазовий синхронізм. Параметричні генератори світла. Умови синхронізму.	14	2	2			10
Тема 7. Умова реалізації вимушеного процесу. Явище вимушеного комбінаційного розсіювання світла..	12	2	0			10
Тема 8. Умова реалізації вимушеного процесу. Явище вимушеного розсіювання світла на акустичних хвилях (Мандельштама-Бріллюена).	9	0	0			9
Тема 9. Потужні CO ₂ – і CO – лазери з ультракороткими імпульсами генерації в системах нелінійно-оптичних перетворень частоти.	10	2	0			8
Тема 10. Фізика і техніка сучасних ВКР-лазерів на електронно-коливальних переходах двоатомних молекул.	10	2	0			8
Модульна контрольна робота	0	0	0			0
Разом за модуль	105	8	4			93
Разом за семестр	210	16	8			186

6.3 Теми практичних (семінарських, лабораторних) занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин	
		денна	заочна
1	Дослідження нерезонансного процесу утворення однозарядних іонів.	2	2
2	Дослідження резонансного процесу утворення однозарядних іонів.	4	2
3	Визначення динамічної поляризованості рівнів	4	0
4	Нелінійна поляризація другого порядку	4	0
5	Визначення довжини когерентності в кристалах	4	2
6	Визначення збурення рівнів в полі лазерного випромінювання.	4	0
7	Проведення ідентифікації резонансних максимумів при утворенні	4	2

	двозарядних іонів при багатифотонній іонізації атомів.		
9	Сучасні досягнення в дослідженні нелінійних явищ та їх використання в науці та техніці	4	0
Разом		30	8

6.2.1.1

самостійна робота

№ з/п	Назва теми	Кількість годин	
		денна	заочна
1	Вивчення правил оптичних переходів в атомах	2	2
2	Вивчення принципу роботи лазера на ітрій-алюмінієвому гранаті.	2	2
...			
Разом		4	4

РЕКОМЕНДОВАНІ ДЖЕРЕЛА ІНФОРМАЦІЇ

Основна література

1. В.І. Григорчук, П.А. Коротков, А.І. Хижняк. Лазерна фізика. Київ, „МП Леся”, 1992.
2. Н.Б. Делоне. Взаимодействие лазерного излучения с веществом. Москва, Наука, 1989
3. И.Р. Шен. Принципы нелинейной оптики. Москва, Наука, 1989.
4. Н. Бломберген. Нелинейная оптика. Москва, Изд-во „Мир”, 1966.
- 5 А. Ярив. Введение в оптическую электронику. Москва, „Высшая школа”, 1983
- 6 *Статті в наукових журналах*; . 1 HuiPeng Kang , Shi Chen, YanLan Wang, Wei Chu, JinPing Yao, Jing Chen, XiaoJun Liu, Ya Cheng, and ZhiZhan Xu, Wavelength-dependent nonsequential double ionization of magnesium by intense femtosecond laser pulses, PHYSICAL REVIEW A 100, 033403 (2019)
- Thu D. H. Truong , T. V. Nhan Hao , and Vinh N. T. Pham, The role of electron-electron repulsion to the nonsequential double ionization mechanisms, IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series 1274 (2019) 012007

Допоміжна література

- 1 А.Ярив. Квантовая электроника и нелинейная оптика. Москва, „Советское радио”, 1973.
- 2 Г.Ф. Бушко, Є.Ф. Венгер. Курс фізики. Ч.2. Київ, „Либідь”, 2001.
- 3 М. Шуберт, Б. Вильгельми. Введение в нелинейную оптику. Ч.1. Москва, Изд-во „Мир”, 1973.