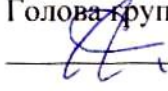



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Одеський державний екологічний університет

ЗАТВЕРДЖЕНО
на засіданні групи забезпечення
спеціальності 104 «Оптика і спектроскопія
квантових систем»
від «25» березня 2021 року
протокол № 3
Голова групи забезпечення
 Свинарєнко А.А.

УЗГОДЖЕНО
Зав відділом аспірантури і докторантури
 Вітовська О. Т.

СИЛАБУС

навчальної дисципліни

«КВАНТОВА ОПТИКА ТА ЛАЗЕРНА ФІЗИКА»

(назва навчальної дисципліни)

104Фізика та астрономія

(шифр та назва спеціальності)

Оптика і спектроскопія квантових систем

(назва освітньої програми)

третій, денна

(рівень вищої освіти) (форма навчання)

1

1,2

8/240

залік, іспит

(рік навчання) (семестр навчання) (кількість кредитів ЄКТС/годин) (форма контролю)

Вищої та прикладної математики

(кафедра)

Одеса- 2021 р.

Автори:

Глушков О.В., зав. кафедри вищої та прикладної математики, д.ф.-м.н., професор;
Свинаренко А.А., професор кафедри вищої та прикладної математики, д.ф.-м.н., професор;
Хецеліус О.Ю., професор кафедри вищої та прикладної математики, д.ф.-м.н., професор

Рецензенти:

Сминтина В.А., д.ф.-м.н., професор (Одеський національний університет ім.І.Мечникова);
Тюрін О.В., д.ф.-м.н., професор (Одеський національний університет ім.І.Мечникова);
Шевчук В.Г., д.ф.-м.н., професор (Одеський національний університет ім.І.Мечникова);

Поточна редакція розглянута на засіданні кафедри вищої та прикладної математики
від «_30_»__08_2021 р., протокол № 1.

Викладачі:

лекційні заняття:

Хецеліус О.Ю., проф. кафедри вищої та прикладної математики, д.ф.-м.н., професор;

практичні заняття:

Свинаренко А.А., професор кафедри вищої та прикладної математики, д.ф.-м.н., професор;

контактна інформація: телефон кафедри: (0482) 32-67-39, електронна адреса:

okhetsel@gmail.com, електронна адреса кафедри: math@odeku.edu.ua

Перелік попередніх редакцій

Прізвища та ініціали авторів	Дата, № протоколу	Дата набуття чинності

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

ЗМ-Л1 – змістовий лекційний модуль №1

ЗМ-Л2 – змістовий лекційний модуль №2

ЗМ-П1 – змістовий практичний модуль №1

ЗМ-КуР – змістовий практичний модуль з виконання курсової роботи

ОЗ – оцінка роботи здобувача освіти за всіма змістовими модулями

ОКР – оцінка залікової контрольної роботи

В – інтегральна оцінка поточної роботи здобувача освіти по дисципліні

ЄКТС – Європейська кредитно-трансферна система

І – іспит

З – залік

ІЗ – індивідуальне завдання

КР – контрольна робота

КуР – курсова робота

ЛЗ – лекційне заняття

УО – усне опитування

ВЗ – перевірка виконання індивідуального завдання

ОЗЕ – кількісна оцінка (у відсотках від максимально можливої) заходів контролю СРС під час проведення аудиторних занять

ВІЗ – виконання індивідуального завдання

ВКуР – виконання курсової роботи

ВЛБ – вивчення певних тем лекційного блока

ПІЗ – перевірка індивідуального завдання

ПКР – перевірка контрольної роботи

ПКуР – перевірка курсової роботи

ПЛЗ – підготовка до лекційних занять

ПМКР – підготовка до контрольної роботи

ПУОП – підготовка до усного опитування під час практичних занять

ПО – підсумкова оцінка

1. ОПИС НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

<p>Мета навчальної дисципліни</p>	<p>Засвоєння (забезпечення) низки компетентностей, зокрема, оволодіння сучасним апаратом оптики та лазерної фізики, здатність розвивати та використовувати нові підходи в теорії випромінювання світла, його поширення, поглинання, в середовищах різної природи, дослідження атомних та молекулярних спектрів, взаємодії електромагнітного випромінювання з атомами, молекулами, твердими тілами, утворення когерентних джерел світла, оптичного запису інформації,</p>
<p>Компетентності, які повинні бути набуті або розвинуті</p>	<p>K09 Здатності аналізу оптичних та спектроскопічних даних. Компетентність аналізувати дані потенційних комп'ютерних обчислень та натурних експериментів із дослідження енергетичних та спектроскопічних характеристик атомів, молекул, твердих тіл, основних властивостей квантових та лазерних систем, взагалі систем у сфері оптики та лазерної фізики, які можуть бути великого обсягу та вимагати застосування потужних обчислювальних ресурсів.</p> <p>K10 Дослідницькі здатності в сфері фізики (оптики та лазерної фізики). Компетентність розвивати та використовувати нові підходи, будувати принципово нові методи опису, моделювання, прогнозування властивостей випромінювання світла, його поширення, поглинання, заломлення та відбивання в середовищах різної природи, дослідження атомних та молекулярних спектрів, взаємодії електромагнітного випромінювання з атомами, молекулами, твердими тілами, утворення когерентних джерел світла, оптичного запису інформації тощо, використовувати сучасні наукові методи та досягати наукових результатів, які створюють нові знання.</p> <p>K11 Здатність аналізу та виявлення комплексу головних проблем у певній галузі сучасної фізики та, зокрема, оптики та спектроскопії атомів, багатозарядних іонів, молекулярних, квантових, лазерних систем, твердого тіла, а також атмосфери та океану;</p> <p>K12 Здатність розвитку нових та удосконалення існуючих методів опису оптичних та спектроскопічних властивостей твердих тіл на основі методів квантової механіки, квантової хімії твердого тіла, а також методів релятивістської квантової теорії.</p> <p>Здатність створювати фізичні, математичні і комп'ютерні моделі в оптиці та спектроскопії фізичних систем із реалізацією ефективних алгоритмів та спеціалізованого програмного забезпечення.</p> <p>Здатність отримувати нові фундаментальні знання в оптиці та спектроскопії атомів, молекул, твердих тіл, лазерних систем, твердих тіл, а також геофізичних систем (атмосфери та океану).</p>
<p>Програмні результати навчання</p>	<p>P092 Використовувати стандартні та будувати нові на основі нових математичних підходів програмні продукти, до потреб дисертаційного дослідження, адаптувати, удосконалювати обчислювальні методи та алгоритми для чисельного дослідження енергетичних та спектроскопічних характеристик атомів, молекул, твердих тіл, основних властивостей квантових та лазерних систем, взагалі систем у сфері оптики та лазерної фізики.</p> <p>P101 Досягнення відповідних знань, розуміння та здатності використовувати нові підходи в теорії випромінювання світла, його поширення, поглинання, в середовищах різної природи, дослідження атомних та молекулярних спектрів, взаємодії електромагнітного випромінювання з атомами, молекулами, твердими тілами, утворення когерентних джерел світла, оптичного запису інформації, уміння використовувати сучасні наукові методи та досягати наукових</p>

	<p>результатів, які створюють нові знання в галузі оптики та лазерної фізики</p> <p>P111 Уміння проводити дослідження з оптики та спектроскопії атомів, багатозарядних іонів, молекулярних, квантових, лазерних систем, твердого тіла, а також атмосфери та океану в контексті існуючих теорій, робити аргументовані висновки (включаючи оцінювання ступеня невизначеності) та пропозиції щодо подальших досліджень.</p> <p>P112 Уміння використовувати сучасні або розроблювати нові підходи розрахунку фундаментальних характеристик, зокрема, на основі методів квантової механіки, електродинаміки, електроніки в оптиці та спектроскопії атомів, молекул, твердих тіл, лазерних систем, твердих тіл, а також геофізичних систем (атмосфери та океану)</p> <p>P121 Уміння створювати фізичні, математичні і комп'ютерні моделі в оптиці та спектроскопії атомів, молекул, твердих тіл, лазерних систем, твердих тіл, а також геофізичних систем (атмосфери та океану), перевіряти їх адекватність, досліджувати їх для отримання нових висновків та поглиблення розуміння фундаментальних процесів ц фізичній системі, аналізувати обмеження</p> <p>P122 Уміння досягнення відповідних знань з використанням ефективних, у тому числі, нових методів, моделей, алгоритмів визначення фізичних (оптичних та спектроскопічних) характеристик атомів, молекул, твердих тіл, лазерних систем, твердих тіл, а також геофізичних систем (атмосфери та океану), обробки результатів чисельних та натурних експериментів.</p>
Базові знання	Сучасний апарат квантової оптики та лазерної фізики, а також нові методи опису, моделювання, прогнозування властивостей випромінювання світла, його поширення, поглинання, заломлення та відбивання в середовищах різної природи, дослідження атомних та молекулярних спектрів, взаємодії електромагнітного випромінювання з атомами, молекулами, твердими тілами, утворення когерентних джерел світла, оптичного запису інформації тощо та досягнення наукових результатів, які створюють потенційно нові знання.
Базові вміння	Розвивати та використовувати нові підходи в теорії випромінювання світла, його поширення, поглинання, в середовищах різної природи, дослідження атомних та молекулярних спектрів, взаємодії електромагнітного випромінювання з атомами, молекулами, твердими тілами, використовувати сучасні наукові методи досягати наукових результатів, які створюють нові знання.
Базові навички	Розвитку нових та удосконалення існуючих методів опису оптичних та спектроскопічних властивостей твердих тіл на основі методів квантової механіки, квантової хімії твердого тіла, а також методів релятивістської квантової теорії.
Пов'язані силабуси	Немає
Попередня дисципліна	Немає
Наступна дисципліна	Обчислювальні методи оптики та динаміки квантових та лазерних систем
Кількість годин	<p>I семестр - лекції – 30 год., практичні заняття – 30 год., самостійна робота – 60 год.</p> <p>II семестр - лекції – 30 год., практичні заняття – 30 год., самостійна робота – 60 год.</p> <p>Загальна кількість годин: лекції – 60 год., практичні заняття – 60 год., самостійна робота – 120 год.</p>

2. ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

2.1. Лекційний модуль

Код	Назви змістовних модулів та перелік тем лекційних занять	Кількість годин	
		Ауди-торні	Самост-робота
ЗМ Л1	Електромагнітна теорія світла. Поширення світла в анізотропних і гіротропних середовищах. Елементи геометричної та хвильової оптики. Інтерференція та дифракція хвиль. Теорія випромінювання та взаємодії світлових хвиль з речовиною. Генерація оптичних гармонік. Волоконна оптика.	15	15
Л1.1	Основні поняття, принципи, концепції та методи оптики та спектроскопії квантових систем, лазерної фізики та спектроскопії, їх застосування для вирішення наукових та прикладних задач. Формулювання головних проблем у галузі оптики та спектроскопії атомів, багатозарядних іонів, молекулярних, квантових, лазерних систем, твердого тіла, а також геофізичних систем. Основні історичні відомості.	2	2
Л1.2	Елементи теорії поля та електродинаміки суцільних середовищ. Принцип відносності. Перетворення Лоренца. Принцип найменшої дії для частинки. Енергія, імпульс, Момент імпульсу. Чотиривимірний потенціал поля. Рівняння руху заряду. Градієнтна інваріантність.	1	1
Л1.3	Тензор електромагнітного поля. Інваріанти поля. Рівняння Максвелла. Вектор Умова-Пойнтінга. Хвильове рівняння. Плоскі і сферичні хвилі. Параболічне наближення. Моді вільного простору. Фазова і групова швидкості світла. Поляризація світла. Вектор Джонса. Параметри Стокса. Сфера Пуанкаре.	1	1
Л1.4	Розрахункові методи Джонса і Мюллера. Віддзеркалення і заломлення світла на межі поділу ізотропних середовищ. Формули Френеля. Повне внутрішнє віддзеркалення. Комплексна діелектрична проникність. Віддзеркалення світла від поверхні провідника. Поширення світла в анізотропних і гіротропних середовищах	2	2
Л1.5	Оптичні властивості одноосьових і двусного кристалів. Подвійне променезаломлення. Конічна рефракція. Електрооптичні ефекти Керра і Поккельса. Оптична активність. Ефект Фарадея. Оптика рухомих середовищ. Досвіди Фізо і Майкельсона. Поздовжній і поперечний ефекти Доплера.. Асимптотичне рішення хвильового рівняння. Геометро-оптичне наближення. Рівняння ейконалу. Область застосування променевого наближення.	1	1
Л1.6	Принцип Ферма. Поняття оптичного зображення. Параксіальна оптика. Переломлення на сферичній поверхні. Сферичні дзеркала і лінзи. Виникнення каустик в оптичних системах. Геометричні аберації. Хроматична аберація. Інтерференція світлових хвиль. Інтерференція частково когерентного випромінювання. Комплексна ступінь когерентності. Двопроменева і багатопроменева інтерференція. Зсувна та спекл-інтерферометрія.	2	2
Л1.7	Дифракція світлових хвиль. Дифракційні інтеграли Кірхгофа-Гюйгенса. Дифракція Френеля і Фраунгофера. Дифракційна решітка. Параболічна теорія дифракції, гауссів пучок. Особливості дифракції некогерентного випромінювання. Основи векторної теорії дифракції. Зворотні задачі теорії дифракції.. Класична теорія взаємодії випромінювання з речовиною. Резонансне наближення. Дисперсійні співвідношення	1	1

	Крамерса-Кроніга.		
Код	Назви змістовних модулів та перелік тем лекційних занять	Кількість годин	
		Ауди-торні	Самостворення
Л1.8	Оптичні нутації. Оптичний ефект Штарка. Фотонне відлуння і самоіндукована прозорість. Солітони. Релаксаційні процеси. Рівняння для матриці густини. Самоузгоджені рівняння для поля, поляризації і різниці заселенностей. Ефект насичення. Закони теплового випромінювання. Формула Планка. Фотоефект. Квантування поля. Оператори народження та знищення фотонів. Гамільтоніан квантованого поля. Комутаційні співвідношення для операторів поля.	2	2
Л1.9	Однофотонні і багатофотонні процеси. Ймовірності спонтанних і вимушених переходів. Коефіцієнти Ейнштейна. Квадрупольні і магнітодипольні переходи. Кооперативні ефекти. Надвипромінювання. Когерентне і комбінаційне розсіювання. Нелінійні сприйнятливості. Поширення хвиль в нелінійній середовищі. Метод повільно мінливих амплітуд. Генерація оптичних гармонік. Параметричне перетворення частоти. Самофокусування світла. Вимушене і комбінаційне розсіювання.	1	1
Л1.10	Речовина у надсильному світловому полі. Ефекти, викликані поглинанням лазерного випромінювання на поверхні непрозорого матеріалу (нагрів, плавлення, випаровування, пробій). Створення об'ємних структур в оптичних склах лазерними імпульсами великої інтенсивності. Спектрохімічний аналіз. Оптичний запис інформації. Механізм запису і відтворення хвильових полів за допомогою двовимірних і тривимірних голограм. Голографічна інтерферометрія. Волоконна оптика. Типи волоконних світловодів. Нелінійні ефекти в оптичних волокнах	2	2
ЗМ-Л2	Елементи статистичної оптики. Загальні питання спектроскопії. Спектроскопія атомів. Молекулярна і рекомбінаційна люмінесценція. Оптика лазерів. Фізичні процеси в лазерах. Статистичні та поляризаційні характеристики лазерного випромінювання. Типи лазерів. Принцип роботи та основні фізичні процеси.	15	15
Л2.1	Тимчасова і просторова когерентність світлових полів; кореляційні функції першого і вищих порядків. Спектральне подання. Теорема Вінера-Хинчина. Інтерферометрія інтенсивностей. Квантові властивості світлових полів. Фоківський, когерентний і стислий стан поля. Розподіл Бозе-Ейнштейна. Пуассонівська, субпуассонівська і суперпуассонівська статистика фотонів.	2	2
Л2.2	Дробовий шум. Статистичні властивості лазерного випромінювання. Закон Кірхгофа і шуми квантових підсилювачів світла. Флуктуативно-дисипативна теорема. Кореляційна спектроскопія. Спонтанне параметричне розсіювання світла. Біфотони. Переплутані стани світла. Оптична реалізація кубітів і їх перетворення. Парадокс Ейнштейна-Подольського-Розена. Нерівності Белла. Статистика частково поляризованого випромінювання. Поляризаційна матриця.	2	2
Л2.3	Поширення хвиль в випадково неоднорідному середовищі. Кореляційні і структурні функції амплітуди і фази. Оптичні моделі атмосферної турбулентності. Розсіювання світла в дисперсному середовищі; рівняння переносу, дифузійне наближення. Загальні питання спектроскопії. Спектроскопія атомів. Систематика спектрів багатоелектронних атомів. Типи зв'язків електронів. Мультиплетна структура. Правила відбору. Взаємодія конфігурацій.	1	1

Код	Назви змістовних модулів та перелік тем лекційних занять	Кількість годин	
		Ауди-торні	Самост-робота
Л2.4	Спектроскопія молекул. Адіабатичне наближення. Групи симетрії молекул. Коливальні спектри. Класифікація нормальних коливань по типам симетрії. Резонанс Фермі. Правила відбору в коливальних спектрах поглинання і комбінаційного розсіювання. Обертальна структура коливальних смуг. Електронні спектри молекул. Класифікація електронних станів двохатомних молекул. Принцип Франка-Кондона. Типи зв'язку електронного руху і обертання.	2	2
Л2.5	Спектроскопія твердого тіла. Переходи під дією світла в ідеальному кристалі. Поглинання в інфрачервоній області спектра і взаємодія світла з фононною підсистемою. Переходи в електронній підсистемі. Поглинання світла в металах. Заборонена зона і область прозорості в діелектриках. Екситони Ваньє-Мотта і Френкеля. Ефекти Оже і Фано. Ефекти на краях основного поглинання: EXAFS і XANES. Елементи теорії поляритонів	1	1
Л2.6	Спектроскопія дефектних станів в кристалах. Автолокалізація екситонів і дірок в діелектриках. Вторинні ефекти в кристалах: люмінесценція, фотоемісія, дефектоутворення під дією світла. Люмінесценція.. Молекулярна і рекомбінаційна люмінесценція. Закон Стокса- Ломмеля. Правило дзеркальної симетрії спектрів поглинання і люмінесценції Левшина і універсальне співвідношення між ними Степанова. Закон Вавилова	2	2
Л2.7	Триплетні стану молекул і їх роль в процесах деградації і міграції енергії електронного збудження.. Безвипромінювальної перенесення енергії електронного збудження. Люмінесценція молекулярних кристалів. Теорія Давидова. Кооперативні процеси в люмінесценції. Зонна модель люмінесценції діелектриків. Розмноження електронних збуджень в твердому тілі. Термовисвечіваніє і інфрачервона стимуляція. Застосування люмінесцентних кристалів в науці, техніці та медицині..	2	2
Л2.8	Джерела оптичного випромінювання. Теплові, газорозрядні і лазерні джерела. Синхротронне випромінювання. Принцип роботи лазера. Поглинання і посилення світла. Активне середовище. Схеми накачування. Теорія Лемба. Оптичні резонатори. Моді оптичних резонаторів. Інтегральне рівняння відкритого резонатора. Спектр власних частот, дифракційні втрати і поширення полів в оптичних резонаторах. Елементи теорії оптичних хвильоводів. Поняття про густину інверсної заселеності енергетичних рівнів.	1	1
Л2.9	Ефект насичення. Швидкісні (кінетичні) рівняння для заселеності енергетичних рівнів. Елементи напівкласичної теорії лазера. Рівняння для амплітуди і частоти генерації одночастотного лазера стоячої хвилі. Статистичні та поляризаційні характеристики лазерного випромінювання. Методи вимірювання параметрів лазерного випромінювання. Вимірювання коефіцієнта посилення, вихідної потужності і енергії, тривалості і форми імпульсу.	1	1

Л2.10	Вимірювання довжини хвилі та частоти. Функція і ступінь когерентності. Когерентність вищих порядків. Особливості багаточастотної генерації. Конкуренція мод, вплив просторових пульсацій, комбіновані частоти, синхронізація мод. Когерентність одномодового і багатомодового лазера. Режими роботи лазерів. Методи управління параметрами лазерного випромінювання. Модуляція (амплітудна, частотна, фазова, просторова). Стабілізація частоти, потужності і просторових характеристик Генерація надкоротких імпульсів. Принципи адаптивної оптики.	1	1
Разом за 1 семестр		30	30
Код	Назви змістовних модулів та перелік тем лекційних занять	Кількість годин	
		Ауди-торні	Самост-робота
ЗМ-ЛЗ	Типи лазерів. Принцип роботи та основні фізичні процеси. Динаміка лазерів. Принципи створення і типи потужних технологічних лазерів. Елементи теорії нелінійних оптичних явищ. Класична електронна і квантова теорія нелінійних сприйнятливості. Лазерна спектроскопія і діагностика плазми. Нова оптика та спектроскопія лазерно-фотоіонізаційних атомно-молекулярних процесів в інтенсивних електричних та лазерних полях.	30	20
ЛЗ.1	Твердотільні лазери. Принцип роботи твердотільних лазерів та основні фізичні процеси. Газові лазери: лазери на нейтральних атомах, іонні лазери, молекулярні лазери, лазери на самообмежених переходах. Принцип роботи газових лазерів та основні фізичні процеси. Хімічні лазери. Принцип роботи хімічних лазерів та основні фізичні процеси. Напівпровідникові лазери. Принцип роботи напівпровідникових лазерів та основні фізичні процеси.	3	2
ЛЗ.2	Генерація світла в напівпровідниках. Умова інверсної заселеності та методи її досягнення. Використання електрооптичних, акустооптичних та магнітооптичних ефектів для модуляції і відхилення оптичного випромінювання. Лазери на центрах забарвлення. Волоконні лазери.	3	2
ЛЗ.3	Перебудовувані лазери. Лазери з СВЧ-накачуванням. Лазери з ядерною накачкою: Принцип роботи та основні фізичні процеси. Особливості характеристик лазерів, що працюють на пов'язаних переходах. Кільцевий резонатор, власні типи хвиль. Спектрально-кореляційна теорія флуктуації інтенсивності і частоти.	3	2
ЛЗ.4	Е Природна ширина і форма лінії випромінювання лазера. Експериментальні методи дослідження природних і технічних флуктуації в газових лазерах безперервної дії. елементи нелінійної динаміки лазерів.. Стан рівноваги нелінійних систем на фазовій площині, їх дослідження на стійкість і основи класифікації. Вимушені коливання нелінійного осцилятора і нелінійний резонанс.	3	2
ЛЗ.5	Приклади автоколивальних систем, синхронізація автоколебаний. Сценарії переходу до хаосу в динаміці автоколивальних систем. Одновимірний лазер з однорідним (неоднорідним) розширенням і модель Лоренца. Лазери з модуляцією добротності. Принципи створення і типи потужних технологічних лазерів.	3	2
ЛЗ.6	Застосування потужних лазерів. Елементи теорії нелінійних оптичних явищ. Атом в сильному полі лазерного випромінювання. Багатофотонні ефекти. Динамічний ефект Штарка. Модель ангармонічного осцилятора. Нелінійна поляризація слабо поглинаючого диспергуючого середовища.	3	2
ЛЗ.7	Нелінійні сприйнятливості. Оптика кооперативних квантових процесів за участю електронів, фотонів атомних ядер. елементарних частинок Електрон-бета-ядерна оптика та спектроскопія спектроскопія атомів і молекул. Класична електронна і квантова теорія нелінійних	3	2

	сприйнятливості. Рівняння електродинаміки нелінійного середовища.		
ЛЗ.8	Укорочені рівняння для амплітуд пов'язаних хвиль в нелінійної середовищі. Трьох-і чотирьох взаємодії в нелінійних середовищах. Самофокусування лазерних пучків. Нелінійне поглинання. Генерація гармонік і комбінаційних частот. Умови синхронізму. Параметричне взаємодія хвиль. Параметричні підсилювачі і генератори з плавним перебудовою частоти. Параметричне перетворення частоти вгору.	3	2
Код	Назви змістовних модулів та перелік тем лекційних занять	Кількість годин	
		Ауди-торні	Самост-робота
ЛЗ.9	Лазерна спектроскопія і діагностика плазми. Методи лінійної лазерної спектроскопії та діагностики плазми: внутрі резонаторний, оптико-акустичний, оптико-гальванічний, модуляційні і ін. Основні методи нелінійної лазерної спектроскопії. Способи отримання вузьких нелінійних резонансів в поглинаючих середовищах (звернений провал Лемба, конкурентні резонанси, інтерференція просторово рознесених полів, двофотоне поглинання та ін.).	3	2
ЛЗ.10	Застосування вузьких резонансів в квантовій електроніці, в експериментальній фізиці, в спектроскопії. Активна спектроскопія. Спектроскопія когерентного антистоксового розсіювання світла (КАРС). Спектроскопія швидко протікаючих процесів. Оптичне і лазерно-хімічне поділення ізотопів. Нова фізика та хімія лазерно-фотоіонізаційних атомно-молекулярних процесів в інтенсивних електричних та лазерних полях і розробка нових, ефективних практично реалізуємих оптимальних лазерних технологій поділення та детектування ізотопів.	3	2
	Підготовка до іспиту		10
	Разом за 2 семестр	30	30
	Разом:	60	60

Консультації проводить професор Глушков О.В. щопонеділка з 15.00 до 17.00 в ауд. 407, можливі он-лайн консультації через Skype або Wiber; для узгодження часу он-лайн консультацій слід надіслати запит на електронну пошту викладача: glushkovav@gmail.com, math@odeku.edu.ua

2.2. Практичний модуль

Код	Назви змістовних модулів та перелік тем практичних занять	Кількість годин	
		Ауди-торні	Самост-роб.
ЗМ-П1	Елементи електромагнітної теорії світла. Поширення світла в середовищах	15	8
П1.1	Принцип найменшої дії для частинки. Енергія, імпульс, Момент імпульсу. Чотиривимірний потенціал поля. Рівняння руху заряду. Градієнтна інваріантність. Тензор електромагнітного поля. Інваріанти поля.	3	2
П1.2	Рівняння Максвелла. Вектор Умова-Пойнтінга. Хвильове рівняння. Плоскі і сферичні хвилі. Параболічне наближення. Моді вільного простору. Фазова і групова швидкості світла. Поляризація світла. Вектор Джонса.	3	1
П1.3	Параметри Стокса. Сфера Пуанкаре. Розрахункові методи Джонса і Мюллера. Віддзеркалення і заломлення світла на межі поділу ізотропних середовищ. Формули Френеля. Повне внутрішнє віддзеркалення.	3	2

П1.4	Комплексна діелектрична проникність. Віддзеркалення світла від поверхні провідника. Поширення світла в анізотропних і гіротропних середовищах. Оптичні властивості одноосьових і двоосного кристалів. Подвійне променезаломлення.	3	1
П1.5	Конічна рефракція. Електрооптичні ефекти Керра і Поккельса. Оптична активність. Ефект Фарадея. Оптика рухомих середовищ. Досвіди Фізо і Майкельсона. Поздовжній і поперечний ефекти Доплера.	3	2
Код	Назви змістовних модулів та перелік тем практичних занять	Кількість годин	
		Ауди-торні	Самост. роб.
ЗМ-П2	Розробка та реалізація моделей взаємодії випромінювання з речовиною. Елементи теорії радіаційного випромінювання.	15	7
П2.1	Класична теорія взаємодії випромінювання з речовиною. Резонансне наближення. Дисперсійні співвідношення Крамерса-Кроніга. Оптичні нутації. Оптичний ефект Штарка.	3	1
П2.2	Фотонне відлуння і самоіндукована прозорість. Солітони. Релаксаційні процеси. Рівняння для матриці густини. Самоузгоджені рівняння для поля, поляризації і різниці заселенностей. Ефект насичення.	3	2
П2.3	Закони теплового випромінювання. Формула Планка. Фотоефект. Квантування поля. Оператори народження та знищення фотонів. Гамільтоніан квантованого поля. Комутаційні співвідношення для операторів поля.	3	1
П2.4	Однофотонні і багатифотонні процеси. Ймовірності спонтанних і вимушених переходів. Коефіцієнти Ейнштейна. Квадрупольні і магніто-дипольні переходи. Кооперативні ефекти. Надвипромінювання. Когерентне і комбінаційне розсіювання. Нелінійні сприйнятливості.	3	1
П2.5	Поширення хвиль в нелінійній середовищі. Метод повільно мінливих амплітуд. Генерація оптичних гармонік. Параметричне перетворення частоти. Самофокусування світла. Вимушене і комбінаційне розсіювання. Речовина у надсильному світловому полі.	3	2
ЗМ-КуР	Курсова робота		10
	Підготовка до заліку		5
	Разом за 1 семестр	30	30
ЗМ-П3	Загальні питання спектроскопії атомів, молекул, кристалів. Принцип роботи та основні фізичні процеси в лазерах. Елементи нелінійної динаміки лазерів	30	15
П3.1	Спектроскопія атомів. Систематика спектрів багатоелектронних атомів. Типи зв'язків електронів. Мультиплетна структура. Правила відбору. Взаємодія конфігурацій. Спектроскопія молекул. Адіабатичне наближення. Групи симетрії молекул.	3	1
П3.2	Коливальні спектри. Класифікація нормальних коливань по типам симетрії. Резонанс Фермі. Правила відбору в коливальних спектрах поглинання і комбінаційного розсіювання. Обертальна структура коливальних смуг. Електронні спектри молекул.	3	2
П3.3	Класифікація електронних станів двохатомних молекул. Принцип Франка-Кондона. Типи зв'язку електронного руху і обертання. Спектроскопія твердого тіла. Переходи під дією світла в ідеальному кристалі. Поглинання в інфрачервоній області спектра і взаємодія світла з фононною підсистемою	3	1
П3.4	Переходи в електронній підсистемі. Поглинання світла в металах.	3	2

	Заборонена зона і область прозорості в діелектриках. Екситони Ваньє-Мотта і Френкеля. Ефекти Оже і Фано. Ефекти на краях остовного поглинання: EXAFS і XANES. Елементи теорії поляритонів.		
ПЗ.5	Спектроскопія дефектних станів в кристалах. Автолокалізація екситонів і дірок в діелектриках. Вторинні ефекти в кристалах: люмінесценція, фотоемісія, дефектоутворення під дією світла. Люмінесценція. Класифікація люмінесценції по тривалості свічення і способу її порушення. Молекулярна і рекомбінаційна люмінесценція.	3	1
Код	Назви змістовних модулів та перелік тем практичних занять	Кількість годин	
		Ауди-торні	Самост. роб.
ПЗ.6	Закон Стокса- Ломмеля.. Люмінесценція молекулярних кристалів. Теорія Давидова. Кооперативні процеси в люмінесценції. Зонна модель люмінесценції діелектриків. Розмноження електронних збуджень в твердому тілі. Термовисвітлювання і інфрачервона стимуляція.	3	2
ПЗ.7	Застосування люмінесцентних кристалів в науці, техніці та медицині. Принцип роботи та основні фізичні процеси. Особливості характеристик лазерів, що працюють на пов'язаних переходах.	3	1
ПЗ.8	Кільцевий резонатор, власні типи хвиль. Спектрально-кореляційна теорія флуктуації інтенсивності і частоти. Природна ширина і форма лінії випромінювання лазера. Експериментальні методи дослідження природних і технічних флуктуації в газових лазерах безперервної дії. Елементи нелінійної динаміки лазерів.	3	1
ПЗ.9	Фундаментальні ефекти, до яких призводить нелінійність: неізохронність, ангармонічність, генерація гармонік і комбінаційних частот, мультистабільність і гістерезис, періодичні та хаотичні автоколивання. Поняття про аттрактор, басейнах тяжіння, біфуркації, карти динамічних режимів. Стан рівноваги нелінійних систем на фазовій площині, їх дослідження на стійкість і основи класифікації.	3	2
ПЗ.10	Вимушені коливання нелінійного осцилятора і нелінійний резонанс. Приклади автоколивальних систем, синхронізація автоколивань. Сценарії переходу до хаосу в динаміці автоколивальних систем. Одновимірний лазер з однорідним (неоднорідним) розширенням і модель Лоренца. Лазери з модуляцією добротності. Принципи створення і типи потужних технологічних лазерів. Застосування потужних лазерів.	3	2
ЗМ-ІЗ	Індивідуальне завдання		5
	Підготовка до іспиту		10
	Разом за 2 семестр	30	30
	Разом:	60	60

Консультації проводить професор Глушков О.В. щопонеділка з 15.00 до 17.00 в ауд. 407, можливі он-лайн консультації через Skype або Wiber; для узгодження часу он-лайн консультацій слід надіслати запит на електронну пошту викладача: glushkovav@gmail.com, math@odeku.edu.ua

2.3. Самостійна робота

Код	Узагальнені дані по всіх змістових модулях про завдання на самостійну роботу	Кількість годин	Строк проведення
ЗМ-Л1	• Самопідготовка до лекцій, опрацювання теоретичного матеріалу за конспектами лекцій і рекомендованими навчальними посібниками, монографічній навчальній літературі, включаючи інформаційні загальноосвітні ресурси;	3	1-8 тижд.
	• Виконання завдань на самостійну роботу, підготовка до усного опитування або тестування;	3	
	• Самостійне вивчення з рекомендованого переліку додаткових теоретичних питань, нерозглянутих на лекціях,	2	
	• Виконання запропонованих викладачем додаткових завдань на самостійну роботу з метою поглиблення та закріплення знань, розвитку аналітичних навичок з проблематики навчальної дисципліни.	2	
	• Підготовка до модульної контрольної роботи (обов'язкова)	5	
ЗМ-Л2	• Самопідготовка до лекцій, опрацювання теоретичного матеріалу за конспектами лекцій і рекомендованими навчальними посібниками, монографічній навчальній літературі, включаючи інформаційні загальноосвітні ресурси;	3	9-15 тижд.
	• Виконання завдань на самостійну роботу, підготовка до усного опитування;	3	
	• Самостійне вивчення з рекомендованого переліку додаткових теоретичних питань, нерозглянутих на лекціях,	2	
	• Виконання запропонованих викладачем додаткових завдань на самостійну роботу з метою поглиблення та закріплення знань, розвитку аналітичних навичок з проблематики навчальної дисципліни.	2	
	Підготовка до модульної контрольної роботи (обов'язкова)	5	
ЗМ-П1	• Самопідготовка до практичних занять, повторення раніше вивченого теоретичного матеріалу;	1	1-8 тижд.
	• Виконання завдань на самостійну роботу, у тому числі розв'язування окремих задач і прикладів, проведення типових розрахунків за даними, отриманими на практичних заняттях, підготовка до презентації результатів;	1	
	• Підготовка до усного опитування або тестування, перевірки практичних робіт у форматі взаємного оцінювання та обґрунтованих висновків;	1	
	• Розв'язування додаткових задач за тематикою практичних занять.	1	
	Підготовка до модульної контрольної роботи (обов'язкова)	5	
ЗМ-П2	• Самопідготовка до практичних занять, повторення раніше вивченого теоретичного матеріалу;	1	9-15 тижд.
	• Виконання завдань на самостійну роботу, у тому числі розв'язування окремих задач і прикладів, проведення типових розрахунків за даними, отриманими на практичних заняттях, підготовка до презентації результатів;	1	
	• Підготовка до усного опитування або тестування, перевірки практичних робіт у форматі взаємного оцінювання та обґрунтованих висновків;	1	
	• Розв'язування додаткових задач за тематикою практичних занять.	1	
	Підготовка до модульної контрольної роботи (обов'язкова)	5	

Код	Узагальнені дані по всіх змістових модулях про завдання на самостійну роботу	Кількість годин	Строк проведення
ЗМ-КуР	<ul style="list-style-type: none"> Виконання етапів курсової (дослідницької) роботи згідно завдання, виданого викладачем; Підготовка до захисту курсової роботи. 	10	1-15 тижд.
ОКР	<ul style="list-style-type: none"> Підготовка до залікової контрольної роботи. 	5	1-15 тижд.
	Разом за 1 семестр	60	
ЗМ-ЛЗ	<ul style="list-style-type: none"> Самопідготовка до лекцій, опрацювання теоретичного матеріалу за конспектами лекцій і рекомендованими навчальними посібниками, монографічній навчальній літературі, включаючи інформаційні загальноосвітні ресурси; Виконання завдань на самостійну роботу, підготовка до усного опитування або тестування; Самостійне вивчення з рекомендованого переліку додаткових теоретичних питань, нерозглянутих на лекціях; Виконання запропонованих викладачем додаткових завдань на самостійну роботу з метою поглиблення та закріплення знань, розвитку аналітичних навичок з проблематики навчальної дисципліни. 	3	1-15 тижд.
	Підготовка до модульної контрольної роботи (обов'язкова)	5	
ЗМ-ПЗ	<ul style="list-style-type: none"> Самопідготовка до практичних занять, повторення раніше вивченого теоретичного матеріалу; Виконання завдань на самостійну роботу, у тому числі розв'язування окремих задач і прикладів, проведення типових розрахунків за даними, отриманими на практичних заняттях, підготовка до презентації результатів; Підготовка до усного опитування або тестування, перевірки практичних робіт у форматі взаємного оцінювання та обґрунтованих висновків; Розв'язування додаткових задач за тематикою практичних занять. 	3	1-15 тижд.
	Підготовка до модульної контрольної роботи (обов'язкова)	5	
ЗМ-ІЗ	Виконання індивідуального завдання	5	5-13 тижд.
	Підготовка до іспиту	20	10-15 тижд
	Разом за 2 семестр:	60	
	Разом:	120	

3. РЕКОМЕНДАЦІЇ ДО САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ АСПІРАНТІВ

3.1. Загальні повчання

Самостійна робота є основним засобом засвоєння здобувачем вищої освіти навчального матеріалу дисципліни в поза аудиторний час, що регламентується навчальним планом.

Базова (обов'язкова) самостійна робота аспіранта включає:

- самопідготовку до лекційних та практичних занять;
- опрацювання нового та повторення раніше вивченого теоретичного матеріалу;
- виконання завдань на самостійну роботу: підготовка інформаційного повідомлення в усній та письмовій формі, складання опорного конспекту, графічне представлення матеріалу (складання схем, рисунків, графіків, діаграм), складання тестів та еталонних відповідей до них, створення матеріалів презентацій, проведення типових розрахунків за даними, отриманими на практичних заняттях;

- підготовку до усного опитування або тестування;
- підготовку до заліку (залікової контрольної роботи).
- виконання курсової роботи та підготовку до її захисту;

Додаткова самостійна робота спрямована на поглиблення та закріплення знань здобувачів освіти, розвиток їх аналітичних навичок з проблематики навчальної дисципліни. Невичерпний перелік заходів може включати:

- самостійне вивчення з рекомендованого переліку додаткових теоретичних питань, нерозглянутих на лекціях;
- розв'язування додаткових задач за тематикою практичних занять;
- виконання творчих аналітично-розрахункових робіт;
- аналіз наукової публікації за визначеною викладачем темою;
- аналіз наукових матеріалів по заданій темі зі складанням схем та моделей на підставі отриманих результатів;
- поглиблений аналіз науково-методичної літератури (підготовка рецензій, анотацій на статтю або посібник, складання анотованого списку статей із відповідних журналів по галузі знань, складання глосарія по конкретній темі, аналітичний звіт з побудови наукової гіпотези за обраною аспірантом тематикою дослідження та ін.);
- пошук додаткових матеріалів, які можуть бути використані для написання курсової (дослідницької) роботи.

Самостійна робота над засвоєнням навчального матеріалу з дисципліни може виконуватися у бібліотеці, читальних залах бібліотеки Одеського державного екологічного університету, навчальних кабінетах, комп'ютерних класах, у домашніх умовах, у тому числі з використанням технологій дистанційного навчання та інтернет ресурсів.

Перелік навчально-методичних матеріалів разом з рекомендованою науковою та фаховою монографічною й періодичною літературою, необхідний для забезпечення самостійної роботи аспірантів, наведено у пункті 5.

Здобувач освіти в ході самостійної роботи може:

- самостійно визначати рівень (глибину) опрацювання змісту матеріалу;
- самостійно опрацьовувати додаткові теми і питання;
- пропонувати свої варіанти організаційних форм самостійної роботи;
- використовувати для самостійної роботи методичні та навчальні посібники та інші інформаційні ресурси понад запропонованого переліку;
- здійснювати самоконтроль результатів самостійної роботи (власними методами або запропонованими викладачем).

Навчальний матеріал дисципліни, передбачений для засвоєння аспірантами у процесі самостійної роботи, виноситься на підсумковий контроль разом із навчальним матеріалом, який було опрацьовано під час проведення навчальних занять.

Загальна кількість годин самостійної роботи, яка надається аспіранту для засвоєння навчального матеріалу дисципліни, становить 120 годин на два семестри.

3.1.1 Модуль Л1, П1.

3.1.1.1 Повчання

Розглядають наступні питання:

Електромагнітна теорія світла. Поширення світла в анізотропних і гіротропних середовищах. Елементи геометричної та хвильової оптики. Інтерференція та дифракція хвиль. Теорія випромінювання та взаємодії світлових хвиль з речовиною. Генерація оптичних гармонік.. Волоконна оптика.

Наявне навчально-методичне забезпечення:

1. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М., Теоретическая физика. Т3. Квантовая механика. Нерелятивистская теория.-М: Наука, 1989. – 768С.
2. Берестецкий В.Б., Лифшиц Е.М., Питаевский Л.П., Теоретическая физика. Т4. Квантовая электродинамика.-М: Наука, 1989. – 728С.
3. Савельев И.В., Курс общей физики, том III. Оптика, атомная физика, физика атомного ядра и элементарных частиц: Наука, 1988. – 528С.
4. Мейтланд А., Данн А.Введение в теорию лазеров.-М.:Наука, 1988.-408С.
5. Ахманов С.А., Дьяков Ю.Е., Чиркин А.С. Загальна фізика. Оптика. Квантова фізика.-Київ: Вища школа, 1991.-280С.

3.1.1.2 Питання до самоперевірки

1. Формулювання головних проблем у галузі оптики та спектроскопії атомів, багатозарядних іонів, молекулярних, квантових, лазерних систем, твердого тіла.
2. Принцип відносності.
3. Перетворення Лоренца.
4. Принцип найменшої дії для частинки.
5. Чотиривимірний потенціал поля.
6. Рівняння руху заряду. Градієнтна інваріантність.
7. Тензор електромагнітного поля. Інваріанти поля.
8. Рівняння Максвелла. Вектор Умова-Пойнтінга.
9. Хвильове рівняння. Плоскі і сферичні хвилі.
10. Поляризація світла. Вектор Джонса. Параметри Стокса.
11. Віддзеркалення і заломлення світла на межі поділу ізотропних середовищ. Формули Френеля.
12. Віддзеркалення світла від поверхні провідника. Поширення світла в анізотропних і гіротропних середовищах..

3.1.2 Модуль Л2, П2.

3.1.2.1 Повчання

Розглядають наступні питання:

Елементи статистичної оптики. Загальні питання спектроскопії. Спектроскопія атомів. Молекулярна і рекомбінаційна люмінесценція. Оптика лазерів. Фізичні процеси в лазерах. Статистичні та поляризаційні характеристики лазерного випромінювання. Типи лазерів. Принцип роботи та основні фізичні процеси.

Наявне навчально-методичне забезпечення:

1. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М., Теоретическая физика. Т3. Квантовая механика. Нерелятивистская теория.-М: Наука, 1989. – 768С.
2. Берестецкий В.Б., Лифшиц Е.М., Питаевский Л.П., Теоретическая физика. Т4. Квантовая электродинамика.-М: Наука, 1989. – 728С.
3. Савельев И.В., Курс общей физики, том III. Оптика, атомная физика, физика атомного ядра и элементарных частиц: Наука, 1988. – 528С.
4. Мейтланд А., Данн А.Введение в теорию лазеров.-М.:Наука, 1988.-408С.
5. Ахманов С.А., Дьяков Ю.Е., Чиркин А.С. Загальна фізика. Оптика. Квантова фізика.-Київ: Вища школа, 1991.-280С.

3.1.2.2 Питання до самоперевірки

1. Тимчасова і просторова когерентність світлових полів; кореляційні функції першого і вищих порядків.
2. Спектральне подання. Теорема Вінера-Хинчина. Інтерферометрія інтенсивностей.
3. Квантові властивості світлових полів. Фоківський, когерентний і стислий стан поля.
4. Розподіл Бозе-Ейнштейна. Пуассонівська, субпуассонівська і суперпуассонівська статистика фотонів.
5. Статистичні властивості лазерного випромінювання. Закон Кірхгофа і шуми квантових підсилювачів світла.
6. Флуктуативно-дисипативна теорема.
7. Спонтанне параметричне розсіювання світла. Біфотони. Переплутані стани світла.
8. Парадокс Ейнштейна-Подольського-Розена. Нерівності Белла.
9. Поляризаційна матриця. Поширення хвиль в випадково неоднорідному середовищі.
10. Кореляційні і структурні функції амплітуди і фази.
11. Оптичні моделі атмосферної турбулентності.
12. Розсіювання світла в дисперсному середовищі; рівняння переносу, дифузійне наближення.

3.1.3 Модуль ЛЗ, ПЗ.

3.1.3.1 Повчання

Розглядають наступні питання:

Типи лазерів. Принцип роботи та основні фізичні процеси. Динаміка лазерів. Принципи створення і типи потужних технологічних лазерів. Елементи теорії нелінійних оптичних явищ. Класична електронна і квантова теорія нелінійних сприйнятливості. Лазерна спектроскопія і діагностика плазми. Нова оптика та спектроскопія лазерно-фотоіонізаційних атомно-молекулярних процесів в інтенсивних електричних та лазерних полях.

Найавне навчально-методичне забезпечення:

1. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М., Теоретическая физика. Т3. Квантовая механика. Нерелятивистская теория.-М: Наука, 1989. – 768С.
2. Берестецкий В.Б., Лифшиц Е.М., Пятаевский Л.П., Теоретическая физика. Т4. Квантовая электродинамика.-М: Наука, 1989. – 728С.
3. Савельев И.В., Курс общей физики, том III. Оптика, атомная физика, физика атомного ядра и элементарных частиц: Наука, 1988. – 528С.
4. Мейтланд А., Данн А. Введение в теорию лазеров.-М.:Наука, 1988.-408С.
5. Ахманов С.А., Дьяков Ю.Е., Чиркин А.С. Загальна фізика. Оптика. Квантова фізика.-Київ: Вища школа, 1991.-280С.

3.1.3.2 Питання до самоперевірки

1. Твердотільні лазери. Принцип роботи твердотільних лазерів та основні фізичні процеси.
2. Газові лазери: лазери на нейтральних атомах, іонні лазери, молекулярні лазери, лазери на самообмежених переходах.
3. Хімічні лазери. Принцип роботи хімічних лазерів та основні фізичні процеси.
4. Напівпровідникові лазери. Принцип роботи напівпровідникових лазерів та основні фізичні процеси.
5. Лазери на центрах забарвлення. Волоконні лазери.
6. Перебудовувані лазери. Лазери з СВЧ-накачуванням. Лазери з ядерною накачкою: Принцип роботи та основні фізичні процеси.
7. Кільцевий резонатор, власні типи хвиль.
8. Природна ширина і форма лінії випромінювання лазера.
9. Стан рівноваги нелінійних систем на фазовій площині, їх дослідження на стійкість і основи класифікації.
10. Вимушені коливання нелінійного осцилятора і нелінійний резонанс. Приклади автоколивальних систем, синхронізація автоколебаний.
11. Одновимірний лазер з однорідним (неоднорідним) розширенням і модель Лоренца.
12. Лазери з модуляцією добротності.
13. Принципи створення і типи потужних технологічних лазерів. Застосування потужних лазерів.

3.2. Рекомендований перелік

додаткових теоретичних питань для самостійного вивчення

- нелінійна квантова та статистична оптика ([6],с.123-145);
- коливальна спектроскопія молекулярних кристалів([7], с.258-299);
- моделювання ролі дефектів в процесі екситон- люмінесценції молекулярних кристалів ([7],с.315-349).;
- теорія ефектів сильного ангармонізму в спектрах оптичних фононів і поляритонів([12] ,с. 232-280);
- кристалооптика з урахуванням просторової дисперсії і теорія екситонів ([8], с.85-112) ;
- дослідження нових нелінійних явищ у фоторефрактивних матеріалах і рідких кристалах([6], с.553-601);
- дослідження нових типів тонкоплівкових середовищ для голографії й оптичного запису інформації ([9], с.347-387) ;
- негативне переломлення в оптичному діапазоні та нелінійне поширення хвиль ([9], с. 395-440) ;
- просторова дисперсія і негативне переломлення світла ([6], с.607-649);
- оптика та динаміка нелінійних квантово-генераторних (спін-генератор-них) систем ([6], с.468-522) ;
- моделювання динаміки генерації хаосу в одномодовому лазері з нелінійним поглинаючим середовищем у резонаторі ([10]. с.205-287);
- моделювання характеристик регулярної та хаотичної динаміки напівпровідникових лазерів ([10], с.23-88);
- низько- та високорозмірна динаміка генерації хаосу у напівпровідниковому GaAs/GaAlAs лазерному приладі із зворотним зв'язком ([7], с.234-290) ;
- кількісне дослідження високорозмірної динаміки генерації розвинутого хаосу в системі квантових генераторів ([8], с.115-190);
- дослідження та розробка нових типів ексимерних лазерів ([12], с.250-278) ;
- теорія короткохвильових лазерів (разерів, гразерів) ([10], с.23-88);
- обчислення і оптимальне управління характеристик волоконних лазерів ([10]. с.205-287);
- розробка нових методів оптимального керування параметрами лазерного випромінювання ([12], с.250-278) ;
- теорія одноатомного мазеру та квантова електродинаміка резонатору ([9], с.347-387) ;
- оптика та спектроскопія атомів в схрещених електричному та магнітному полях ([7],с.315-349).

3.3. Вказівки до виконання курсової (дослідницької) роботи

Окремою складовою самостійної роботи з дисципліни «Квантова оптика та лазерна фізика» є виконання курсової (дослідницької) роботи та підготовка до її захисту. Курсова робота - один із видів індивідуальних завдань навчально-дослідницького та творчого характеру, який має на меті не лише поглиблення, узагальнення і закріплення знань аспірантів з навчальної дисципліни, а й застосування їх при проведенні власного наукового дослідження і вироблення вміння самостійно працювати з навчальною і науковою літературою, електронно-обчислювальною технікою та іншим обладнанням, використовуючи сучасні інформаційні засоби та технології.

Вибір теми курсової роботи (проекту) здобувач освіти здійснює на початку вивчення дисципліни протягом перших трьох тижнів семестру. Аспіранту надається право вільного вибору теми роботи із запропонованого переліку. також він може запропонувати власну тему курсової роботи за умови письмового погодження із науковим керівником, обґрунтувавши своє рішення належним чином і враховуючи, що запропонована тема повинна бути актуальною і відповідати професійному спрямуванню дисципліни.

Курсова робота є окремою заліковою одиницею навчальної дисципліни і оцінюється як самостійний вид навчальної діяльності аспіранта. Виконання курсової роботи передбачає розробку розрахунково-пояснювальної записки, графічного, ілюстративного матеріалу, та є творчим рішенням конкретної задачі щодо застосування чисельних методів алгебри у

розв'язанні задач динаміки квантових систем, виконаним аспірантом самостійно згідно із завданням під керівництвом викладача, на основі набутих з даної та суміжних дисциплін знань та умінь.

Процес написання курсової роботи включає послідовність певних етапів, які проходить здобувач вищої освіти самостійно і під керівництвом викладача: складання календарного плану; підбір, вивчення та аналіз літератури з досліджуваної теми; написання тексту теоретичної частини курсової роботи; аналіз експериментального матеріалу та узагальнення практичних досліджень; аналіз отриманих результатів, їх інтерпретація та формулювання висновків; оформлення тексту курсової роботи і підготовка до захисту, у тому числі отримання рецензії на курсову роботу.

Термін подання завершеної курсової роботи – не пізніше ніж за два тижні до захисту. Захист курсових робіт (проектів) відбувається до початку екзаменаційної сесії.

3.3.1. Перелік тем курсових (дослідницьких) робіт

Тема курсової (дослідницької) роботи, як правило, вибирається з урахуванням тематики дисертаційних досліджень аспірантів, а також може бути вибрана у наступному вигляді:

1. Релятивістська теорія обчислення спектрів надважких атомів та іонів з урахуванням ядерних, кореляційних та радіаційних ефектів [1], с.236-300
2. Оптика та спектроскопія нових надважких елементів таблиці Менделєєва: ($Z=108-118$); [1], с.98-152
3. Нелінійна оптика та спектроскопія атомів в інтенсивному полі лазерного випромінювання; [1], с.170-223
4. Релятивістський метод Дірака-Фока в дослідженні спектрів атомів лантанідів та актинідів; [2], с.34-95
5. Квантово-електродинамічна теорія спектральних ліній іонів; [4], с.10-99
6. Оптика та спектроскопія рідбергівських атомів та іонів; [2], с.98-139
7. Спектроскопія рідбергівських атомів в полі електромагнітного (лазерного, теплового) випромінювання, оптичні стандарти частоти; [3], с. 411-491
8. Релятивістська теорія зсуву та уширення спектральних ліній атомів в атмосфері буферних інертних газів; [5], с. 8-79
9. Релятивістська теорія фото-збудження та іонізації атомів та іонів[5], с. 203-270
10. Релятивістський розрахунок характеристик одно-та багато-фотонних резонансів для складних атомів та іонів; [1], 301-386
11. Розрахунок енергетичних та спектроскопічних характеристик атомів та іонів із d, f оболонками, які добудовуються; [2], с. 315-402
12. Релятивістський розрахунок характеристик діелектронних сателітів спектральних ліній багатозарядних іонів; [3], 247-294
13. Метод модельного потенціалу (псевдо потенціалу) в спектроскопії радіаційних переходів атомів та багатозарядних іонів; [3], с. 300-372
14. Оптика та спектроскопія екзотичних адронних атомів з урахуванням релятивістських, радіаційних та ядерних ефектів; [2], с. 556-608
15. Релятивістська теорія радіаційних переходів у спектрах важких атомів; [1], с.519-588
16. Релятивістська теорія розрахунку сил електрон-іонних зіткнень для багатозарядних іонів в плазмі; [4], с.153-210
17. Теорія спонтанного та вимушеного випромінювання рідбергівського атому в резонаторі; [4], с.211-300
18. Розрахунок радіаційних поправок (лембівського зсуву, поляризації вакууму) до енергій рівнів надважких атомів та іонів на основі теорії збурень; [5], с. 80-156
19. Квантова теорія розсіювання світла в багатоцентровому середовищі; [1], с. 428-489
20. Обчислення характеристик оптоелектронних систем та приладів; [2], 649-701

Захист курсової роботи проводиться перед комісією, яка складається з двох викладачів кафедри, та за участю керівника курсової роботи. Перед допуском до захисту аспіранта текст електронної версії курсової роботи обов'язково перевіряється на оригінальність за допомогою доступного веб-сервісу перевірки із встановленням частки (відсоткового показника) оригінального тексту.

Для курсової роботи рекомендуються наступні показники оригінальності:

- понад 85 % – текст вважається оригінальним;
- від 75 до 85 % – оригінальність задовільна;
- від 60 до 75 % – матеріал може бути прийнятий до розгляду після доопрацювання та перевірки наявності посилань для цитованих фрагментів;
- менше 60 % – матеріал до розгляду не приймається.

Оцінка за виконання та захист курсової (дослідницької) роботи визначається відповідно до методики, викладеної у пункті 4.

3.4. Вказівки до виконання індивідуального завдання

Індивідуальні завдання сприяють більш поглибленому вивченню аспірантом практичного матеріалу, формуванню вмінь використати знання для вирішення відповідних практичних завдань.

В рамках вивчення дисципліни індивідуальне завдання міститься у практичному модулі, яке представляє собою домашнє завдання з розкриттям теми та письмовим оформленням завдання.

Індивідуальне завдання виконується самостійно у вільний від занять, зручний для аспіранта час, як правило, поза аудиторією, але із забезпеченням необхідних консультацій з окремих питань з боку викладача.

Звіт про виконання ІЗ подається аспірантом у вигляді текстового документа з титульною сторінкою на аркушах формату А4. Звіт повинен містити детальну інформацію про розв'язання задачі з обов'язковими поясненнями, що спираються на відповідний теоретичний матеріал або детальний переказ теоретичного матеріалу з наведенням прикладів. Не пізніше ніж за 2 тижні до семестрового підсумкового контролю звіт подається викладачу. Оцінка за ІЗ виставляється в інтегральну відомість окремим блоком і враховується в практичній частині контролю. Тема індивідуального завдання, як правило, вибирається з урахуванням тематики дисертаційних досліджень аспірантів, а також може бути вибрана з переліку тем.

3.4.1 Перелік тем індивідуальних завдань (ІЗ)

- Твердотільні лазери. Принцип роботи твердотільних лазерів та основні фізичні процеси. ([4], с. 6-52)
- Газові лазери: лазери на нейтральних атомах, іонні лазери, молекулярні лазери, лазери на самообмежених переходах. Принцип роботи газових лазерів та основні фізичні процеси. ([4], с. 6-52)
- Хімічні лазери. Принцип роботи хімічних лазерів та основні фізичні процеси. ([4], с. 96-152)
- Напівпровідникові лазери. Принцип роботи напівпровідникових лазерів та основні фізичні процеси. ([5], с. 5-67)
- Генерація світла в напівпровідниках. Умова інверсної заселеності та методи її досягнення. ([5], с. 68-150)
- Лазери на центрах забарвлення. Принцип роботи, основні фізичні процеси. ([4], с. 208-270)
- Волоконні лазери. Принцип роботи, основні фізичні процеси. ([4], с. 286-331)
- Перебудовувані лазери. Принцип роботи, основні фізичні процеси. ([5], с. 118-164)
- Лазери з СВЧ-накачуванням. Принцип роботи, основні фізичні процеси. ([4], с. 232-264)
- Лазери з ядерною накачкою. Принцип роботи, основні фізичні процеси. ([5], с. 165-207-52)

4. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ КОНТРОЛЬНИХ ЗАХОДІВ ТА ОЦІНЮВАННЯ ЗДОБУВАЧІВ ОСВІТИ

4.1. Політика навчальної дисципліни

Загальна політика	<ul style="list-style-type: none">• здобувач освіти зобов'язаний: відвідувати аудиторні заняття згідно розкладу, не спізнюватися; на заняттях дотримуватися етики поведінки, на лекціях бажано виключати телефони; своєчасно виконувати всі види робіт, передбачені програмою навчальної дисципліни;• під час практичних занять здобувач освіти має можливість використовувати власні цифрові носії інформації із доступом в мережу Інтернет, а також здійснювати пошук інформації на гугл-диску викладача з його дозволу;• здобувач освіти має право отримати від викладача вичерпну інформацію щодо оцінювання його роботи, у тому числі оцінки за усну або письмову відповідь під час контрольних заходів;• на останньому занятті з дисципліни викладач повідомляє загальну суму балів, яку здобувач освіти отримав за результатами всіх видів поточного контролю, що обчислюється як накопичувальна сума складових поточного контролю;• викладач заздалегідь доводить до відома здобувачів освіти час об'яви результатів підсумкового контролю;• теми, які виносяться на самостійне опрацювання і не входять до тем аудиторних навчальних занять, оцінюються під час підсумкового контролю;• вивчення дисципліни з використанням технологій дистанційного навчання передбачено у випадку форс-мажорних обставин, а також у разі інклюзивного навчання здобувачів освіти з вадами опорно-рухового апарату;• підсумковий семестровий контроль здобувачів освіти може здійснюватися з використанням технологій дистанційного навчання – системи е-навчання університету;• з метою контролю виконання завдань заліку в дистанційній формі викладач має право протягом усього заходу користуватись засобами інформаційно-комунікаційного зв'язку, які дозволяють ідентифікувати здобувача освіти (Zoom, Google Meet, Skype, Viber тощо).
Правила стосовно зарахування пропущених занять	<ul style="list-style-type: none">• допускається вільне відвідування аспірантами лекційних занять, відвідування практичних занять є обов'язковим;• ліквідація заборгованості з практичної частини навчальної дисципліни здійснюється за графіком, який оприлюднюється протягом двох робочих днів після закінчення занять у семестрі;• ліквідація заборгованості протягом заліково-екзаменаційної сесії дає можливість отримати допуск до семестрового контролю.
Правила щодо порушення термінів	<ul style="list-style-type: none">• роботи, які здаються із порушенням термінів без поважних причин, оцінюються на нижчу оцінку;• якщо обов'язкові заходи, які підлягають контролю, виконуються здобувачем освіти після строків, визначених у програмі навчальної дисципліни, кількість балів, що може отримати студент, не може перевищувати 60% від максимально можливої для цієї форми контролю.

<p>Політика щодо призначення заохочувальних та штрафних балів</p>	<ul style="list-style-type: none"> • здобувачам освіти можуть нараховуватися: • <i>заохочувальні (додаткові) бали:</i> «+0,5 бали» - за доповнення до виступу, суттєві запитання до доповідачів, вміння аргументовано висловлюють свої думки, творче опрацювали всі питання лекції та зразкове ведення опорного конспекту; «+1 бал» - за підготовку творчої роботи (завдання, презентації); • <i>штрафні бали:</i> «-1 бал» - за пропуск практичного заняття. «-0,5 бали» - за невчасну здачу звіту практичної роботи (етапу курсової роботи); • мінімальна оцінка виконання змістового модуля після зниження не може бути нижча 60% від максимальної можливої.
<p>Політика щодо академічної доброчесності</p>	<ul style="list-style-type: none"> • оцінювання усних повідомлень, практичних робіт та індивідуальних завдань, самостійної роботи, результатів виконання тестових завдань та ін. здійснюється з позицій дотримання академічної доброчесності; • усі письмові роботи перевіряються на наявність плагіату і допускаються до захисту із коректними текстовими запозиченнями не більше 25%; • під час семестрового контролю здобувачу освіти дозволяється користуватись довідниками та іншими джерелами інформації, перелік яких встановлюється викладачем; використання носіїв інформації, що не передбачені встановленим переліком, а також спілкування з іншими особами, у тому числі й за допомогою технічних засобів зв'язку, є підставою для виставлення здобувачу освіти у відомості оцінки «не зараховано» (FX, F); • списування під час проведення контрольних заходів, у тому числі за допомогою мобільних пристроїв, заборонено.

4.2. Види контролю та рейтингова система оцінювання результатів навчання

4.2.1. Види контролю

Контрольні заходи з навчальної дисципліни «Квантова оптика та лазерна фізика» включають поточний та підсумковий контроль.

1. *Поточний контроль* здійснюється протягом семестру і включає:

- Усне опитування під час практичних занять на початку заняття з метою з'ясування рівня готовності здобувачів освіти до виконання завдань практичної роботи;
- Спостереження за роботою протягом заняття з подальшою оцінкою активності здобувачів освіти у процесі заняття, внесених ними пропозицій, оригінальних рішень, уточнень і визначень, доповнень відповідей попередніх доповідачів і т.п.;
- Письмове опитування після виконання завдань практичної роботи шляхом розв'язання проблемних питань письмово, розроблених у декількох варіантах (відповіді на проблемні питання можна включити в звіт про виконання роботи замість висновків);
- Перевірка індивідуальних звітів з виконаної роботи;
- Модульну контрольну роботу, яка включає 10 тестових запитань відкритого типу. Правильна відповідь на кожне з запропонованих запитань оцінюється у 2 бала. Таким чином, максимальна оцінка за модульну контрольну роботу складає 20 балів.
- Поточний контроль виконання етапів курсової роботи.

2. *Підсумковий контроль* проводиться у формі семестрового заліку (1 семестр) та семестрового іспиту (2 семестр).

Умови допуску до підсумкового семестрового контролю:

- здобувач освіти вважається допущеним до семестрового контролю з навчальної дисципліни (семестрового заліку), якщо він виконав всі види робіт, передбачених програмою навчальної дисципліни, і набрав необхідну суму балів по заходах поточного контролю

згідно з Положенням про проведення підсумкового контролю знань студентів: на останній день семестру інтегральна сума балів поточного контролю є достатньою (не менше 20 балів з теоретичної та не менше 30 балів з практичної частини у тому числі успішний захист курсової роботи) для отримання позитивної оцінки; інтегральна кількісна оцінка поточної роботи здобувача освіти обов'язково містить оцінку залікової контрольної роботи; сума балів на заліковій контрольній роботі не менше 50% від максимально можливої.

Інтегральна оцінка (%) поточної роботи здобувача освіти по дисципліні (шкала університету) розраховується за виразом:

$$B = 0,75 \times O3 + 0,25 \times OKP,$$

де O3 – оцінка роботи студента за змістовними модулями, бали;

OKP – оцінка залікової контрольної роботи, бали.

- здобувач освіти вважається допущеним до семестрового контролю з навчальної дисципліни (семестрового іспиту), якщо він виконав всі види робіт, передбачених програмою навчальної дисципліни, і набрав необхідну суму балів по заходах поточного контролю згідно з Положенням про проведення підсумкового контролю знань студентів: на останній день семестру інтегральна сума балів поточного контролю є достатньою (не менше 30 балів з практичної частини) для отримання позитивної оцінки; сума балів на екзаменаційній роботі не менше 50% від максимально можливої.

Інтегральна оцінка (%) поточної роботи здобувача освіти по дисципліні (шкала університету) розраховується за виразом:

$$B = 0,5 \times O3 + 0,5 \times I,$$

де O3 – оцінка роботи студента за змістовними модулями, бали;

I – оцінка екзаменаційної роботи, бали.

4.3. Оцінювання результатів навчання (кількість балів, які можуть отримати здобувачі вищої освіти)

I семестр

4.3.1. ЗМ-Л1, ЗМ-Л2

Оцінювання лекційних змістових блоків здійснюється на підставі результатів модульних контрольних робіт, які проводяться в кінці освоєння змістових блоків ЗМ-Л1, ЗМ-Л2 і складаються з 10 тестових питань кожна (по 2 бали за правильну відповідь).

Кількість балів	Змістові блоки		Сума балів
	ЗМ-Л1	ЗМ-Л2	
Max	20	20	40 балів
Min	0	0	0 балів

4.3.2. ЗМ-П1, ЗМ-П2

Оцінювання практичних змістових блоків здійснюється на підставі результатів модульних контрольних робіт, які проводяться в кінці освоєння змістових блоків ЗМ-П1, ЗМ-П2 і складаються з 10 тестових питань кожна (по 2 бали за правильну відповідь).

Кількість балів	Змістові блоки		Сума балів
	ЗМ-П1	ЗМ-П2	
Max	20	20	40 балів
Min	0	0	0 балів

Оцінюванню під час поточного контролю підлягають всі практичні заняття, передбачені програмою навчальної дисципліни. Критерії оцінки практичних робіт: повнота і своєчасність виконання завдання, акуратність розрахунків.

Виконання практичної роботи оцінюється викладачем з урахуванням активності здобувача освіти на практичному занятті (під час обговорення загальної проблеми, розв'язування завдань) та за результатами перевірки виконання завдань на самостійну роботу.

Матеріал для самостійної роботи, який передбачений в темі практичного заняття, оцінюється одночасно із аудиторною роботою під час поточного контролю теми на відповідному практичному занятті.

4.3.3. ЗМ-КуР

Кількість балів	Оцінка виконання етапів курсової роботи протягом семестру*	Оцінка захисту курсового проекту**	Сума балів
Max	12	8	20 балів
Min	0	0	0 балів

Примітки: * - оцінюється розкриття змісту та оформлення курсової роботи; ** - оцінюється вміння чітко, зрозуміло та стисло викладати основні результати проведеного дослідження; повнота, глибина, обґрунтованість відповідей на питання членів комісії за змістом роботи; ґрунтовність висновків та рекомендацій щодо практичного використання результатів дослідження.

Підсумкова оцінка виконання змістового модулю з курсової роботи складається з двох частин, на кожену з яких надається відповідна частка балів змістового модулю: оцінка виконання етапів курсової роботи протягом семестру - 60% балів (перша частина); оцінка захисту курсового проекту - щонайбільше 40% балів (друга частина). Критерії оцінки курсової роботи: креативність та оригінальність рішення, відмінність від наявних робіт, акуратність розрахунків, демонстрація презентабельності та комунікативності на захисті.

Курсова робота оцінюється у балах і відсотках і зараховується до загальної оцінки з дисципліни.

4.3.4. Оцінка роботи здобувача освіти за всіма змістовими модулями (ОЗ)

Максимально можлива загальна кількість балів за шкалою університету, яку може отримати здобувач освіти за виконання обов'язкових форм контролю самостійної роботи, має становити 100%. При визначенні оцінки роботи здобувача освіти беруться до уваги: рівень теоретичної підготовки, вміння творчо застосовувати одержані знання для вирішення практичних завдань; вміння здійснювати необхідні розрахунки та аналізувати інформацію; якість відповіді (обґрунтованість, чіткість, стислість), здатність впевнено та правильно відповідати на теоретичні питання і пояснювати практичні дії, спроможність логічно будувати свій виступ (відповідь), аргументовано відстоювати особисту точку зору; вміння використовувати для обґрунтування своїх рішень останні досягнення науки і техніки; оволодіння методичними навичками.

Рекомендується визначити оцінку за результати виконаних робіт, що формують базові знання, вміння та навички, як 75% від максимально можливої.

Змістові блоки	Максимальна кількість балів
ЗМ-Л1	20 балів
ЗМ-Л2	20 балів
ЗМ-П1	20 балів
ЗМ-П2	20 балів
ЗМ-КуР	20 балів
Всього:	100 балів

4.3.5. Оцінка залікової контрольної роботи (ОКР)

Кількість балів за правильне виконання одного тестового завдання		Кількість тестових завдань	Сума балів	
Max	5	20	Max	100
Min*	0		Сума балів, за якої залікова контрольна робота вважається виконаною**	≥50
			Min	0

Примітки:

* - нерозбірливо написана, невірна відповідь, її відсутність – 0 балів;

** - сума балів, за якої залікова контрольна робота вважається виконаною, повинна складати не менше 50% від максимально можливої суми балів на заліковій контрольній роботі.

Залікова контрольна робота проводиться у письмовій формі за тестами оцінки знань базової компоненти навчальної дисципліни, які розроблені кафедрою для проведення ректорського контролю залишкових знань здобувачів освіти або підсумкового контролю комісією.

Залікова контрольна робота включає 20 тестових запитань відкритого типу. Правильна відповідь на кожне з запропонованих запитань оцінюється у 5 балів. Таким чином, максимальна оцінка за залікову контрольну роботу складає 100 балів.

Методика розробки тестових завдань викладена в додатку «Форми та принципи конструювання тестових завдань» Інструкції про Порядок проведення та критерії оцінювання відповідей студентів під час письмових іспитів.

II семестр

4.3.6. ЗМ-ЛЗ

Оцінювання лекційного змістового блоку здійснюється на підставі результатів модульної контрольної роботи, яка проводиться в кінці освоєння змістового блоку ЗМ-ЛЗ і складається з 10 тестових питань (по 5 балів за правильну відповідь).

Кількість балів	Змістові блоки		Сума балів
	ЗМ-ЛЗ		
Max	50		50 балів
Min	0		0 балів

4.3.7. ЗМ-ПЗ

Оцінювання практичного змістового блоку здійснюється на підставі результатів модульної контрольної роботи, яка проводиться в кінці освоєння змістового блоку ЗМ-ПЗ і складається з 10 тестових питань (по 5 балів за правильну відповідь).

Кількість балів	Змістові блоки		Сума балів
	ЗМ-ПЗ		
Max	50		50 балів
Min	0		0 балів

Оцінюванню під час поточного контролю підлягають всі практичні заняття, передбачені програмою навчальної дисципліни. Критерії оцінки практичних робіт: повнота і своєчасність виконання завдання, акуратність розрахунків.

Виконання практичної роботи оцінюється викладачем з урахуванням активності здобувача освіти на практичному занятті (під час обговорення загальної проблеми, розв'язування завдань) та за результатами перевірки виконання завдань на самостійну роботу.

Матеріал для самостійної роботи, який передбачений в темі практичного заняття, оцінюється одночасно із аудиторною роботою під час поточного контролю теми на відповідному практичному занятті.

4.3.8. Оцінка роботи здобувача освіти за всіма змістовими модулями (ОЗ)

Максимально можлива загальна кількість балів за шкалою університету, яку може отримати здобувач освіти за виконання обов'язкових форм контролю самостійної роботи, має становити 100%. При визначенні оцінки роботи здобувача освіти беруться до уваги: рівень теоретичної підготовки, вміння творчо застосовувати одержані знання для вирішення практичних завдань; вміння здійснювати необхідні розрахунки та аналізувати інформацію; якість відповіді (обґрунтованість, чіткість, стислість), здатність впевнено та правильно відповідати на теоретичні питання і пояснювати практичні дії, спроможність логічно будувати свій виступ (відповідь), аргументовано відстоювати особисту точку зору; вміння використовувати для обґрунтування своїх рішень останні досягнення науки і техніки; оволодіння методичними навичками.

Рекомендується визначити оцінку за результати виконаних робіт, що формують базові знання, вміння та навички, як 75% від максимально можливої.

Змістові блоки	Максимальна кількість балів
ЗМ-ЛЗ	50 балів
ЗМ-ПЗ	50 балів
Всього:	100 балів

4.3.9. Оцінка екзаменаційної роботи (І)

Кількість балів за правильне виконання одного тестового завдання		Кількість тестових завдань	Сума балів	
Max	5		Max	100
Min*	0	20	Сума балів, за якої екзаменаційна робота вважається виконаною**	≥50
			Min	0

Примітки:

* - нерозбірливо написана, невірна відповідь, її відсутність – 0 балів;

** - сума балів, за якої робота вважається виконаною, повинна складати не менше 50% від максимально можливої суми балів на екзаменаційній роботі.

Екзаменаційна робота проводиться у письмовій формі за екзаменаційними білетами у тестовій формі, які розроблені кафедрою для проведення іспитів по дисципліні.

Екзаменаційна робота включає 20 тестових запитань відкритого типу. Правильна відповідь на кожне з запропонованих запитань оцінюється у 5 балів. Таким чином, максимальна оцінка за екзаменаційну роботу складає 100 балів. **Загальна екзаменаційна оцінка** (бал успішності) у цьому випадку є арифметичною сумою оцінок за кожне питання.

Методика розробки тестових завдань викладена в додатку «Форми та принципи конструювання тестових завдань» Інструкції про Порядок проведення та критерії оцінювання відповідей студентів під час письмових іспитів.

4.4. Критерії оцінювання засвоєння навчальної дисципліни

Шкала оцінювання за системою ЄКТАС та національною системою

За шкалою ECTS	За національною системою		Бал успішності
	Для іспиту	Для заліку	
A	5(відмінно)	зараховано	90-100
B	4(добре)	зараховано	82-89,9
C	4(добре)	зараховано	74-81,9
D	3(задовільно)	зараховано	64-73,9
E	3(задовільно)	зараховано	60-63,9
FX	2(незадовільно)	не зараховано	35-59,9
F	2(незадовільно)	не зараховано	1-34,9

4.5 ПИТАННЯ ДО ЗАХОДІВ ПОТОЧНОГО, ПІДСУМКОВОГО ТА СЕМЕСТРОВОГО КОНТРОЛЮ

4.5.1. Тестові завдання до модульної контрольної роботи модуля ЗМ-Л1

1. Основні поняття, принципи, концепції та методи оптики та спектроскопії квантових систем, лазерної фізики та спектроскопії. ([1], с. 34-50)
2. Формулювання головних проблем у галузі оптики та спектроскопії атомів, багатозарядних іонів, молекулярних, квантових, лазерних систем, твердого тіла, а також геофізичних систем. ([1], с. 34-50)
3. Принцип відносності. Перетворення Лоренца. ([1], с. 51-75)
4. Принцип найменшої дії для частинки. Енергія, імпульс, Момент імпульсу. ([1], с. 76-88)
5. Рівняння руху заряду. ([1], с. 89-95)
6. Рівняння Максвелла. ([1], с.94-102)
7. Вектор Умова-Пойнтінга. ([1], с. 104-112)
8. Хвильове рівняння. ([1], с. 104-115)
9. Фазова і групова швидкості світла. ([1], с. 114-125)
10. Формули Френеля. Повне внутрішнє віддзеркалення ([1], с. 135-150)
11. Оптичні властивості одноосьових і двоосного кристалів. ([1], с. 134-150)
12. Електрооптичні ефекти Керра і Погкельса. ([1], с.150-168)
13. Досвіди Фізо і Майкельсона. ([1], с. 170-187)
14. Поздовжній і поперечний ефекти Доплера.. ([1], с. 188--200)
15. Область застосування променевого наближення. ([1], с. 188-200)
16. Принцип Ферма. ([2], с.34-80)

17. Інтерференція світлових хвиль. ([2], с. 102-150)
18. Дифракція світлових хвиль. Дифракційні інтеграли Кірхгофа-Гюйгенса. ([2], с. 114-150)
19. Дифракція Френеля і Фраунгофера. ([2], с. 151-180)
20. Основи векторної теорії дифракції. ([2], с. 176-190)

4.5.2. Тестові завдання до модульної контрольної роботи модуля ЗМ-Л2

1. Теорема Вінера-Хинчина. ([3], с. 24-55)
2. Розподіл Бозе-Ейнштейна. ([3], с. 56-90)
3. Закон Кірхгофа і шуми квантових підсилювачів світла. ([3], с. 91-108)
4. Флуктуативно-дисипативна теорема. ([3], с. 110-120)
5. Парадокс Ейнштейна-Подольського-Розена. ([3], с. 148-175)
6. Нерівності Белла. ([3], с. 148-175)
7. Оптичні моделі атмосферної турбулентності. ([3], с. 176-191)
8. Типи зв'язків електронів. ([3], с. 176-191)
9. Спектроскопія молекул. ([3], с. 241-260)
10. Класифікація нормальних коливань по типам симетрії. ([3], с. 234-250)
11. Правила відбору в коливальних спектрах поглинання і комбінаційного розсіювання. ([2], с. 34-50)
12. Класифікація електронних станів двохатомних молекул. ([2], с. 74-95)
13. Принцип Франка-Кондона. ([2], с. 95-123)
14. Переходи під дією світла в ідеальному кристалі. ([2], с. 124-140)
15. Екситони Ваньє-Мотта і Френкеля. ([2], с. 141-160)
16. Ефекти Оже і Фано. ([4], с. 14-35)
17. Ефекти на краях основного поглинання: EXAFS і XANES. ([4], с. 36-50)
18. Автолокалізація екситонів і дірок в діелектриках. ([4], с. 50-73)
19. Вторинні ефекти в кристалах: люмінесценція, фотоемісія, дефектоутворення під дією світла. ([4], с. 74-100)
20. Закон Стокса- Ломмеля. Правило дзеркальної симетрії спектрів поглинання і люмінесценції Левшина і універсальне співвідношення між ними Степанова. ([4], с. 74-100)

4.5.3. Тестові завдання до модульної контрольної роботи модуля ЗМ-Л3

1. Принцип роботи твердотільних лазерів та основні фізичні процеси. ([4], с. 14-30)
2. Газові лазери: лазери на нейтральних атомах, іонні лазери, молекулярні лазери, лазери на самообмежених переходах. Принцип роботи газових лазерів та основні фізичні процеси. ([4], с. 31-60)
3. Хімічні лазери. Принцип роботи хімічних лазерів та основні фізичні процеси. ([4], с. 60-81)
4. Напівпровідникові лазери. Принцип роботи напівпровідникових лазерів та основні фізичні процеси. ([4], с. 82-104)
5. Генерація світла в напівпровідниках. Умова інверсної заселеності та методи її досягнення. 6. Лазери на центрах забарвлення. ([4], с. 104-130)
6. Волоконні лазери. ([4], с. 131-152)
7. Перебудовувані лазери. ([4], с. 153-178)
8. Лазери з СВЧ-накачуванням. ([4], с. 178-195)
9. Лазери з ядерною накачкою: Принцип роботи та основні фізичні процеси. ([4], с. 195-230)

10. Особливості характеристик лазерів, що працюють на пов'язаних переходах. ([4], с. 230-254)
11. Спектрально-кореляційна теорія флуктуації інтенсивності і частоти. ([4], с. 255-287)
12. Природна ширина і форма лінії випромінювання лазера. ([4], с. 288-309)
13. Стан рівноваги нелінійних систем на фазовій площині, їх дослідження на стійкість і основи класифікації. ([4], с. 310-331)
14. Вимушені коливання нелінійного осцилятора і нелінійний резонанс. Приклади автоколивальних систем, синхронізація автоколебаний. ([4], с. 332-367)
15. Одновимірний лазер з однорідним (неоднорідним) розширенням і модель Лоренца. ([4], с. 368-385)
16. Лазери з модуляцією добротності. Принципи створення і типи потужних технологічних лазерів. ([4], с. 386-402)
17. Застосування потужних лазерів. ([5], с. 201-214)
18. Динамічний ефект Штарка. ([5], с. 214-230)
19. Рівняння електродинаміки нелінійного середовища. ([5], с. 231-264)
20. Методи лінійної лазерної спектроскопії та діагностики плазми: внутрі резонаторний, оптико-акустичний, оптико-гальванічний, модуляційні і ін. ([5], с. 265-290)

4.5.4. Тестові завдання до модульної контрольної роботи модуля ЗМ-ПІ

1. Принцип найменшої дії для частинки. ([2], с.112-134)
2. Енергія, імпульс. ([2], с.112-134)
3. Момент імпульсу. ([2], с.135-154)
4. Чотиривимірний потенціал поля. ([2], с.135-154)
5. Рівняння руху заряду. ([2], с.135-154)
6. Градієнтна інваріантність. ([2], с.155-174)
7. Тензор електромагнітного поля. ([2], с.155-174)
8. Інваріанти поля. ([2], с.175-188)
9. Рівняння Максвелла. ([2], с.188-209)
10. Вектор Умова-Пойнтінга. ([2], с.188-209)
11. Хвильове рівняння. ([2], с.210-234)
12. Моді вільного простору. ([2], с.210-234)
13. Фазова і групова швидкості світла. ([2], с.234-278)
14. Вектор Джонса. ([2], с.234-278)
15. Параметри Стокса. ([2], с.301-335)
16. Сфера Пуанкаре. ([2], с.336-372)
17. Розрахункові методи Джонса і Мюллера. ([2], с.336-372)
18. Формули Френеля. ([2], с.372-400)
19. Оптичні властивості одноосьових і двоосного кристалів. ([2], с.401-434)
20. Ефект Фарадея. ([2], с.435-490)

4.5.5. Тестові завдання до модульної контрольної роботи модуля ЗМ-ПІІ

1. Класична теорія взаємодії випромінювання з речовиною. ([3], с.35-49)
2. Резонансне наближення. ([3], с.50-79)
3. Дисперсійні співвідношення Крамерса-Кроніга. ([3], с.50-79)
4. Оптичні нутації. ([3], с.80-105)

5. Оптичний ефект Штарка. ([3], с.80-105)
6. Фотонне відлуння і самоіндукована прозорість. ([3], с.105-134)
7. Солітони. ([3], с.105-134)
8. Релаксаційні процеси. ([3], с.135-160)
9. Рівняння для матриці густини. ([3], с.135-160)
10. Самоузгоджені рівняння для поля, поляризації і різниці заселенностей. ([3], с.161-187)
11. Ефект насичення. ([3], с.161-187)
12. Закони теплового випромінювання. ([3], с.188-211)
13. Формула Планка. ([3], с.188-211)
14. Фотоефект. ([3], с.212-249)
15. Квантування поля. ([3], с.212-249)
16. Оператори народження та знищення фотонів. ([3], с.250-284)
17. Гамільтоніан квантованого поля. ([3], с.250-284)
18. Комутаційні співвідношення для операторів поля. ([3], с.284-306)
19. Однофотонні і багатифотонні процеси. ([3], с.306-345)
20. Квадрупольні і магніто-дипольні переходи. Кооперативні ефекти. ([3], с.306-345)

4.5.6. Тестові завдання до модульної контрольної роботи модуля ЗМ-ПЗ

1. Систематика спектрів багатоелектронних атомів. ([4], с.6-42)
2. Типи зв'язків електронів. ([4], с.6-42)
3. Правила відбору. ([4], с.43-68)
4. Групи симетрії молекул. Коливальні спектри. ([4], с.43-68)
5. Класифікація нормальних коливань по типам симетрії. ([4], с.68-89)
6. Резонанс Фермі. ([4], с.90-128)
7. Правила відбору в коливальних спектрах поглинання і комбінаційного розсіювання. ([4], с.129-145)
8. Електронні спектри молекул. ([4], с.146-171)
9. Класифікація електронних станів двохатомних молекул. ([4], с.146-171)
10. Принцип Франка-Кондона. ([4], с.172-197)
11. Типи зв'язку електронного руху і обертання. ([4], с.172-197)
12. Екситони Ваньє-Мотта і Френкеля. ([4], с.198-245)
13. Ефекти Оже і Фано. ([4], с.246-270)
14. Ефекти на краях остовного поглинання: EXAFS і XANES. ([4], с.271-300)
15. Класифікація люмінесценції по тривалості свічення і способу її порушення. ([4], с.301-334)
16. Закон Стокса- Ломмеля.. ([4], с.335-345)
17. Зонна модель люмінесценції діелектриків([4], с.346-359).
18. Кільцевий резонатор, власні типи хвиль. ([4], с.360-385)
19. Фундаментальні ефекти, до яких призводить нелінійність: неізохронність, ангармонічність, генерація гармонік і комбінаційних частот, мультистабільність і гістерезис, періодичні та хаотичні автоколивання. ([4], с.385-405)
20. Вимушені коливання нелінійного осцилятора і нелінійний резонанс. ([4], с.385-405)

4.5.7. Тестові завдання до залікової роботи

1. Основні поняття, принципи, концепції та методи оптики та спектроскопії квантових систем, лазерної фізики та спектроскопії. ([1], с. 34-50)
2. Формулювання головних проблем у галузі оптики та спектроскопії атомів, багатозарядних іонів, молекулярних, квантових, лазерних систем, твердого тіла. ([1], с. 34-50)
3. Принцип відносності. Перетворення Лоренца. ([1], с. 51-75)
4. Принцип найменшої дії для частинки. Енергія, імпульс, Момент імпульсу. ([1], с. 76-88)
5. Рівняння руху заряду. ([1], с. 89-95)
6. Рівняння Максвелла. ([1], с.94-102)
7. Вектор Умова-Пойнтінга. ([1], с. 104-112)
8. Хвильове рівняння. ([1], с. 104-115)
9. Фазова і групова швидкості світла. ([1], с. 114-125)
10. Формули Френеля. Повне внутрішнє віддзеркалення ([1], с. 135-150)
11. Оптичні властивості одноосьових і двоосного кристалів. ([1], с. 134-150)
12. Електрооптичні ефекти Керра і Погкельса. ([1], с.150-168)
13. Досвіди Фізо і Майкельсона. ([1], с. 170-187)
14. Поздовжній і поперечний ефекти Доплера.. ([1], с. 188--200)
15. Область застосування променевого наближення. ([1], с. 188-200)
16. Принцип Ферма. ([2], с.34-80)
17. Інтерференція світлових хвиль. ([2], с. 102-150)
18. Дифракція світлових хвиль. Дифракційні інтеграли Кірхгофа-Гюйгенса. ([2], с. 114-150)
19. Дифракція Френеля і Фраунгофера. ([2], с. 151-180)
20. Основи векторної теорії дифракції. ([2], с. 176-190)
21. Теорема Вінера-Хинчина. ([3], с. 24-55)
22. Розподіл Бозе-Ейнштейна. ([3], с. 56-90)
23. Закон Кірхгофа і шуми квантових підсилювачів світла. ([3], с. 91-108)
24. Флуктуативно-дисипативна теорема. ([3], с. 110-120)
25. Парадокс Ейнштейна-Подольського-Розена. ([3], с. 148-175)
26. Нерівності Белла. ([3], с. 148-175)
27. Оптичні моделі атмосферної турбулентності. ([3], с. 176-191)
28. Типи зв'язків електронів. ([3], с. 176-191)
29. Спектроскопія молекул. ([3], с. 241-260)
30. Класифікація нормальних коливань по типам симетрії. ([3], с. 234-250)
31. Правила відбору в коливальних спектрах поглинання і комбінаційного розсіювання. ([2], с. 34-50)
32. Класифікація електронних станів двохатомних молекул. ([2], с. 74-95)
33. Принцип Франка-Кондона. ([2], с. 95-123)
34. Переходи під дією світла в ідеальному кристалі.. ([2], с. 124-140)
35. Екситони Ваньє-Мотта і Френкеля. ([2], с. 141-160)
36. Ефекти Оже і Фано. ([4], с. 14-35)
37. Ефекти на краях основного поглинання: EXAFS і XANES. ([4], с. 36-50)
38. Автолокалізація екситонів і дірок в діелектриках. ([4], с. 50-73)
39. Вторинні ефекти в кристалах: люмінесценція, фотоемісія, дефектоутворення під дією світла. ([4], с. 74-100)
40. Закон Стокса- Ломмеля. Правило дзеркальної симетрії спектрів поглинання і люмінесценції Левшина і універсальне співвідношення між ними Степанова. ([4], с. 74-100)

4.5.8. Тестові завдання до екзаменаційної роботи

1. Основні поняття, принципи, концепції та методи оптики та спектроскопії квантових систем, лазерної фізики та спектроскопії. ([1], с. 34-50)
2. Формулювання головних проблем у галузі оптики та спектроскопії атомів, багатозарядних іонів, молекулярних, квантових, лазерних систем, твердого тіла, а також геофізичних систем. ([1], с. 34-50)
3. Принцип відносності. Перетворення Лоренца. ([1], с. 51-75)
4. Принцип найменшої дії для частинки. Енергія, імпульс, Момент імпульсу. ([1], с. 76-88)
5. Рівняння руху заряду. ([1], с. 89-95)
6. Рівняння Максвелла. ([1], с.94-102)
7. Вектор Умова-Пойнтінга. ([1], с. 104-112)
8. Хвильове рівняння. ([1], с. 104-115)
9. Фазова і групова швидкості світла. ([1], с. 114-125)
10. Формули Френеля. Повне внутрішнє віддзеркалення ([1], с. 135-150)
11. Оптичні властивості одноосьових і двосного кристалів. ([1], с. 134-150)
12. Електрооптичні ефекти Керра і Погкельса. ([1], с.150-168)
13. Досвіди Фізо і Майкельсона. ([1], с. 170-187)
14. Поздовжній і поперечний ефекти Доплера.. ([1], с. 188--200)
15. Область застосування променевого наближення. ([1], с. 188-200)
16. Принцип Ферма. ([2], с.34-80)
17. Інтерференція світлових хвиль. ([2], с. 102-150)
18. Дифракція світлових хвиль. Дифракційні інтеграли Кірхгофа-Гюйгенса. ([2], с. 114-150)
19. Дифракція Френеля і Фраунгофера. ([2], с. 151-180)
20. Основи векторної теорії дифракції. ([2], с. 176-190)
21. Теорема Вінера-Хинчина. ([3], с. 24-55)
22. Розподіл Бозе-Ейнштейна. ([3], с. 56-90)
23. Закон Кірхгофа і шуми квантових підсилювачів світла. ([3], с. 91-108)
24. Флуктуативно-дисипативна теорема. ([3], с. 110-120)
25. Парадокс Ейнштейна-Подольського-Розена. ([3], с. 148-175)
26. Нерівності Белла. ([3], с. 148-175)
27. Оптичні моделі атмосферної турбулентності. ([3], с. 176-191)
28. Типи зв'язків електронів. ([3], с. 176-191)
29. Спектроскопія молекул. ([3], с. 241-260)
30. Класифікація нормальних коливань по типам симетрії. ([3], с. 234-250)
31. Правила відбору в коливальних спектрах поглинання і комбінаційного розсіювання. ([2], с. 34-50)
32. Класифікація електронних станів двохатомних молекул. ([2], с. 74-95)
33. Принцип Франка-Кондона. ([2], с. 95-123)
34. Переходи під дією світла в ідеальному кристалі.. ([2], с. 124-140)
35. Екситони Ваньє-Мотта і Френкеля. ([2], с. 141-160)
36. Ефекти Оже і Фано. ([4], с. 14-35)
37. Ефекти на краях основного поглинання: EXAFS і XANES. ([4], с. 36-50)
38. Автолокалізація екситонів і дірок в діелектриках. ([4], с. 50-73)
39. Вторинні ефекти в кристалах: люмінесценція, фотоемісія, дефектоутворення під дією світла. ([4], с. 74-100)

40. Закон Стокса- Ломмеля. Правило дзеркальної симетрії спектрів поглинання і люмінесценції Левшина і універсальне співвідношення між ними Степанова. ([4], с. 74-100)
41. Принцип роботи твердотільних лазерів та основні фізичні процеси. ([4], с. 14-30)
42. Газові лазери: лазери на нейтральних атомах, іонні лазери, молекулярні лазери, лазери на самообмежених переходах. Принцип роботи газових лазерів та основні фізичні процеси. ([4], с. 31-60)
43. Хімічні лазери. Принцип роботи хімічних лазерів та основні фізичні процеси. ([4], с. 60-81)
44. Напівпровідникові лазери. Принцип роботи напівпровідникових лазерів та основні фізичні процеси. ([4], с. 82-104)
45. Генерація світла в напівпровідниках. Умова інверсної заселеності та методи її досягнення. б. Лазери на центрах забарвлення. ([4], с. 104-130)
46. Волоконні лазери. ([4], с. 131-152)
47. Перебудовувані лазери. ([4], с. 153-178)
48. Лазери з СВЧ-накачуванням. ([4], с. 178-195)
49. Лазери з ядерною накачкою: Принцип роботи та основні фізичні процеси. ([4], с. 195-230)
50. Особливості характеристик лазерів, що працюють на пов'язаних переходах. ([4], с. 230-254)
51. Спектрально-кореляційна теорія флуктуації інтенсивності і частоти. ([4], с. 255-287)
52. Природна ширина і форма лінії випромінювання лазера. ([4], с. 288-309)
53. Стан рівноваги нелінійних систем на фазовій площині, їх дослідження на стійкість і основи класифікації. ([4], с. 310-331)
54. Вимушені коливання нелінійного осцилятора і нелінійний резонанс. Приклади автоколивальних систем, синхронізація автоколебаний. ([4], с. 332-367)
55. Одновимірний лазер з однорідним (неоднорідним) розширенням і модель Лоренца. ([4], с. 368-385)
56. Лазери з модуляцією добротності. Принципи створення і типи потужних технологічних лазерів. ([4], с. 386-402)
57. Застосування потужних лазерів. ([5], с. 201-214)
58. Динамічний ефект Штарка. ([5], с. 214-230)
59. Рівняння електродинаміки нелінійного середовища. ([5], с. 231-264)
60. Методи лінійної лазерної спектроскопії та діагностики плазми: внутрі резонаторний, оптико-акустичний, оптико-гальванічний, модуляційні і ін. ([5], с. 265-290)

5. ЛІТЕРАТУРА ДЛЯ ВИВЧЕННЯ ДИСЦИПЛІНИ

Основна література

1. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М., Теоретическая физика. Т3. Квантовая механика. Нерелятивистская теория.-М: Наука, 1989. – 768С.
2. Берестецкий В.Б., Лифшиц Е.М., Питаевский Л.П., Теоретическая физика. Т4. Квантовая электродинамика.-М: Наука, 1989. – 728С.
3. Glushkov A.V., Relativistic Quantum Theory. Quantum, mechanics of Atomic Systems. Odessa: Astroprint, 2008.
4. Khetselius, O. Yu. Hyperfine structure of atomic spectra; Astroprint: Odessa, **2008**.
5. Khetselius, O.Yu. Quantum structure of electroweak interaction in heavy finite Fermi-systems. Astroprint: Odessa, **2011**.

Додаткова література

1. Glushkov, A.V. Relativistic and correlation effects in spectra of atomic systems; Odessa: Astroprint: **2006**.
2. Glushkov A.V. Atom in electromagnetic field. KNT: Kiev, **2005**.
3. Glushkov A.V., Ivanov L.N., Radiation decay of atomic states: atomic residue polarization and gauge noninvariant contributions. Phys.Lett.A. 1992. Vol.170, N1. P.33-36; [https://doi.org/10.1016/0375-9601\(92\)90387-2](https://doi.org/10.1016/0375-9601(92)90387-2)
4. Ivanova E.P., Ivanov L.N., Glushkov A.V., Kramida A.E., High Order Corrections in the Relativistic Perturbation Theory with the Model Zeroth Approximation, Mg-Like and Ne-Like Ions. Phys.Scripta. 1985.-Vol.32,N5.-P.513-522; <https://doi.org/10.1088/0031-8949/32/5/011>
5. E.P.Ivanova, A.V.Glushkov, Theoretical investigation of spectra of multicharged ions of F-like and Ne-like isoelectronic sequences// Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer.-1986.-Vol.36(2).-P. 127-145; [https://doi.org/10.1016/0022-4073\(86\)90116-0](https://doi.org/10.1016/0022-4073(86)90116-0)
6. Glushkov A.V., Ivanov L.N., DC strong-field Stark effect: consistent quantum-mechanical approach. Journal of Physics B: Atomic, Mol. and Opt. Phys. 1993. Vol.26, N14. P.L379–386; <https://doi.org/10.1088/0953-4075/26/14/001>
7. Khetselius, O.Yu. Relativistic perturbation theory calculation of the hyperfine structure parameters for some heavy-element isotopes. Int. J. Quant. Chem. 2009, 109, 3330–3335.
8. Khetselius, O. Relativistic calculation of the hyperfine structure parameters for heavy elements and laser detection of the heavy isotopes. Phys. Scripta 2009, 135, 014023.
9. Khetselius O.Yu., Quantum Geometry: New approach to quantization of the quasistationary states of Dirac equation for super heavy ion and calculating hyper fine structure parameters. Proc. Intern. Geometry Center. 2012. Vol.5(3-4). P.39-45.
10. Glushkov, A.V., Khetselius, O.Yu., Svinarenko, A.A., Buyadzhi, V.V., Spectroscopy of autoionization states of heavy atoms and multiply charged ions. TEC: Odessa, 2015.
11. Glushkov A.V., Khetselius O.Yu., Svinarenko A.A., Buyadzhi V.V., Methods of computational mathematics and mathematical physics. P.1. TES: Odessa, 2015.
12. Khetselius, O.Yu., Glushkov, A.V., Dubrovskaya, Yu.V., Chernyakova, Yu.G., Ignatenko, A.V., Serga, I.N., Vitavetskaya, L.A. Relativistic quantum chemistry and spectroscopy of exotic atomic systems with accounting for strong interaction effects. In: Wang YA, Thachuk M, Krems R, Maruani J (eds) Concepts, Methods and Applications of Quantum Systems in Chemistry and Physics. Springer, Cham, **2018**; Vol. 31, pp. 71-91;
13. Dubrovskaya, Y.V., Khetselius, O.Y., Vitavetskaya, L.A., Ternovsky, V.B., Serga, I.N., Quantum chemistry and spectroscopy of pionic atomic systems with accounting for relativistic, radiative, and strong interaction effects. Advances in Quantum Chem. **2019**, Vol.78, pp 193-222.

14. Glushkov, A., Gurskaya, M., Ignatenko, A., Smirnov, A., Serga, I., Svinarenko, A., Ternovsky, E. Computational code in atomic and nuclear quantum optics: Advanced computing multiphoton resonance parameters for atoms in a strong laser field. *J. Phys.: Conf. Ser.* **2017**, 905(1), 012004.
15. Khetselius OYu, Optimized relativistic many-body perturbation theory calculation of wavelengths and oscillator strengths for Li-like multicharged ions, *Adv Quant Chem.* 2019. vol 78. Elsevier, pp 223-251; <https://doi.org/10.1016/bs.aiq.2018.06.001>
16. Glushkov AV (2019) Multiphoton spectroscopy of atoms and nuclei in a laser field: Relativistic energy approach and radiation atomic lines moments method. *Adv Quant Chem.* vol 78. Elsevier, pp 253-285. <https://doi.org/10.1016/bs.aiq.2018.06.004>
17. Glushkov, A. QED energy approach to atoms and nuclei in a strong laser field: Radiation lines. *AIP Conf. Proceedings.* 1290(1) (2010) 258-262. <http://doi.org/10.1063/1.3517569>
18. Glushkov, A., Gurskaya, M., Ignatenko, A., Smirnov, A., Serga, I., Svinarenko, A., Ternovsky, E. Computational code in atomic and nuclear quantum optics: Advanced computing multiphoton resonance parameters for atoms in a strong laser field. *J. Phys.: Conf. Ser.* 905 (2017) 012004.
19. Svinarenko, A. A., Glushkov, A. V., Khetselius, O.Yu., Ternovsky, V.B., Dubrovskaya, Yu., Kuznetsova, A.A., Buyadzhi, V.V., Theoretical spectroscopy of rare-earth elements: spectra and autoionization resonances. *Rare Earth Element*, Ed. J. Orjuela (InTech) 2017, pp 83-104. 52
20. Glushkov, A.V., Khetselius, O.Yu., Svinarenko A.A., Buyadzhi, V.V., Ternovsky, V.B, Kuznetsova, A., Bashkarev, P.G. Relativistic perturbation theory formalism to computing spectra and radiation characteristics: application to heavy element. *Recent Studies in Perturbation Theory*, ed. D. Uzunov (InTech) 2017, 131-150