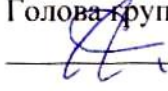



ЗАТВЕРДЖЕНО  
на засіданні групи забезпечення  
спеціальності 104 «Оптика і спектроскопія  
квантових систем»  
від «25» березня 2021 року  
протокол № 3  
Голова групи забезпечення  
 Свиначенко А.А.

УЗГОДЖЕНО  
Зав відділом аспірантури і докторантури  
 Вітовська О. Т.

## СИЛАБУС

навчальної дисципліни

«ОПТИКА І СПЕКТРОСКОПІЯ АТОМІВ ТА МОЛЕКУЛ  
У ЗОВНІШНЬОМУ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОМУ ПОЛІ»

---

(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)

125/150залік

---

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

Вищої та прикладної математики

---

(кафедра)

**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;  
Дубровська Ю.В., доцент кафедри вищої та прикладної математики, к.ф.-м.н., доцент

**Рецензенти:**

Поточна редакція розглянута на засіданні кафедри вищої та прикладної математики  
від «\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2021 р., протокол № \_\_\_\_\_

**Викладачі:**

*лекційні заняття:*

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

*практичні заняття:*

Дубровська Ю.В., доцент кафедри вищої та прикладної математики, к.ф.-м.н., доцент;

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

[okhetsel@gmail.com](mailto:okhetsel@gmail.com), [odeku.intsci@gmail.com](mailto:odeku.intsci@gmail.com) електронна адреса кафедри: [math@odeku.edu.ua](mailto: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-П2** – змістовий практичний модуль №2

**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

## 1. ОПИС НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

<p><b>Мета навчальної дисципліни</b></p>	<p>Формування у студентів здатностей, необхідних для глибокого розуміння теоретичних основ оптики і спектроскопії атомів та молекул у зовнішньому електромагнітному полі, використання методів дослідження їх спектральних характеристик для вирішення професійних завдань.</p>
<p><b>Компетентності, які повинні бути набуті або розвинуті</b></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; 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. K12 Здатність створювати фізичні, математичні і комп'ютерні моделі в оптиці та спектроскопії фізичних систем із реалізацією ефективних алгоритмів та спеціалізованого програмного забезпечення. 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><b>Програмні результати навчання</b></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. 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) 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 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>
<p><b>Базові знання</b></p>	<p>Теоретичні основи сучасної оптики і спектроскопії атомів та молекул, вплив зовнішнього електричного поля на спектральні терми атомів та молекул, вплив зовнішнього магнітного поля на спектральні терми атомів.</p>
<p><b>Базові вміння</b></p>	<p>Пояснювати фізичні явища і процеси, що лежать в основі ефектів Штарка, Зеємана, Пашена-Бака, визначати інтенсивності штарковських компонент, використовувати методи розрахунку енергетичного спектра рідберговських атомів в схрещених електричному і магнітному полях; проводити спектральні вимірювання.</p>

<b><i>Базові навички</i></b>	Проведення розрахунків моментів радіаційних ліній методом Іванова-Іванової, володіти методами пошуку інформації для визначення спектроскопічних параметрів атомно-молекулярних систем, а також вибору оптимальних засобів для їх експериментального вимірювання; практичними навичками проведення спектроскопічних вимірювань і обробки їх результатів.
<b><i>Пов'язані силабуси</i></b>	Немає
<b><i>Попередня дисципліна</i></b>	Обчислювальні методи оптики та динаміки квантових та лазерних систем
<b><i>Наступна дисципліна</i></b>	Науково-педагогічна практика
<b><i>Кількість годин</i></b>	лекції – 30 год., практичні заняття – 45 год., самостійна робота – 75 год.

## 2. ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

### 2.1. Лекційний модуль

Код	Назви змістовних модулів та перелік тем лекційних занять	Кількість годин	
		Аудиторні	Самоств. робота
<b>ЗМ-Л1</b>	<b>Спектроскопія атомів у зовнішніх електричному та магнітному полях</b>	<b>15</b>	<b>15</b>
Л1.1	Поняття сильного і слабого полів. Основні характеристики електромагнітного поля.	1	1
Л1.2	Експериментальні методи дослідження спектральних характеристик атомів та молекул у зовнішньому електромагнітному полі.	1	1
Л1.3	Вплив зовнішнього електричного поля на спектральні терми атомів та молекул. Ефект Штарка.	1	1
Л1.4	Індукований електричний момент атома. Лінійний і квадратичний ефект Штарка.	1	1
Л1.5	Спектроскопія атома водню і багатоелектронних атомів у зовнішньому електричному полі. Визначення інтенсивностей штарковських компонент.	1	1
Л1.6	Теоретичні методи обчислення енергій та ширин резонансів Штарка в спектрах атомів та молекул. Метод теорії збурень. Квазікласичне наближення.	1	1
Л1.7	Чисельний метод розв'язання рівнянь Шредінгера та Дірака. Операторна теорія збурень (ТЗ) Глушкова-Іванова.	1	1
Л1.8	Вплив зовнішнього магнітного поля на спектральні терми атомів. Ефект Зеемана. Квантово-механічний опис ефекту Зеемана. Простий ефект Зеемана.	1	1
Л1.9	Правила відбору. Магнітна структура спектральних ліній. Узгодження класичного і квантово-механічного описів простого ефекту.	1	1
Л1.10	Складний ефект Зеемана. Фактор Ланде. Магнітна структура спектральних ліній при складному ефекті Зеемана. Ефект Пашена-Бака. Прецесія магнітних моментів атома.	2	2
Л1.11	Теоретичні методи обчислення енергій та ширин резонансів для атома в магнітному полі. ТЗ для атому у постійному магнітному полі.	2	2
Л1.12	Чисельне інтегрування рівняння Шредінгера для атому в магнітному полі. Операторна ТЗ Глушкова-Іванова.	2	2
<b>ЗМ-Л2</b>	<b>Спектроскопія багатоелектронних атомів в змінному електричному полі</b>	<b>15</b>	<b>15</b>
Л2.1	Гамільтоніан атома в електромагнітному полі. Метод квазіенергій і теорема Флоке. Метод комплексних координат для багатоелектронних рідберговських атомів в електромагнітному полі. Специфічні риси ефекту Штарка в змінному полі.	1	1
Л2.2	Теоретична спектроскопія атомів в схрещених електричному і магнітному полях: статистичний аналіз енергетичних спектрів.	1	1
Л2.3	Теоретичні методи розрахунку енергетичного спектра рідберговських атомів в схрещених електричному і магнітному полях. Метод квантового дефекту.	1	1
Л2.4	Статистичний аналіз енергетичних спектрів рідберговських атомів в схрещених електричному і магнітному полях.	1	1

Код	Назви змістовних модулів та перелік тем лекційних занять	Кількість годин	
		Ауди-торні	Самост. робота
Л2.5	Спектроскопія атомів у полі лазерного випромінювання. Динамічна поляризованість. Скалярна, тензорна і аксіальна поляризованість. Випадок слабого поля. Граничні аналітичні вирази для атома водню.	1	1
Л2.6	Штарковське розщеплення рідберговських станів атома. Метод Крамерса-Хеннебергера. Динамічний штарковське зрушення в негативних іонах.	1	1
Л2.7	Атом в полі лазерного випромінювання. Релятивістський енергетичний підхід і техніка моментів радіаційних ліній поглинання і випромінювання. Релятивістська теорія розрахунку характеристик багатофотонних резонансів в атомах у полі імпульсу лазерного випромінювання.	1	1
Л2.8	Техніка розрахунку моментів радіаційних ліній: розрахунок сум другого порядку релятивістської теорії збурень методом Іванова-Іванової. Багато-фотонні резонанси в атомі водню. 4-фотонний резонансний, чотирьох фотонний іонізаційний профіль переходу $6S-6F$ в атомі цезію.	2	2
Л2.9	Посилений прояв фотон-кореляційних ефектів. Моделювання кінетики різниці заселеності резонансних рівнів атомів в полі електромагнітного імпульсу різної форми.	2	2
Л2.10	Теорія і моделювання оптичного пропускання при багатофотонному поглинанні для ансамблю атомів в лазерному полі. Бістабільність оптичного пропускання при трьох-фотонному поглинанні в парах цезію.	2	2
Л2.11	Спектроскопія і багатофотонні процеси в молекулярних системах. Кінетика енергообміну в різних молекулах в середовищі буферного газу під дією інтенсивного лазерного випромінювання. Селективна фотодисоціація і фотоіонізація молекул: оптимізаційні моделі.	2	2
<b>Разом:</b>		<b>30</b>	<b>30</b>

Консультації проводить професор Хецеліус О.Ю. 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: okhetsel@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.
<b>ЗМ-П1</b>	<b>Дослідження спектральних характеристик атомів та молекул у зовнішньому електромагнітному полі</b>	<b>25</b>	<b>15</b>
П1.1	Дослідження спектральних характеристик атомів та молекул у зовнішньому електричному полі. Дослідження спектральних характеристик атомів та молекул у зовнішньому магнітному полі.	2	1
П1.2	Обчислення енергій та ширин резонансів Штарка в спектрах атомів та молекул. Метод теорії збурень. Квазікласичне наближення.	2	1
П1.3	Чисельний метод розв'язання рівнянь Шредінгера та Дірака. Операторна теорія збурень Глушкова-Іванова.	2	2
П1.4	Вплив зовнішнього магнітного поля на спектральні терми атомів. Ефект Зеемана. Квантово-механічний опис ефекту Зеемана.	2	1

Код	Назви змістовних модулів та перелік тем лекційних занять	Кількість годин	
		Ауди-торні	Самост. робота
П1.5	Простий ефект Зеемана. Правила відбору. Магнітна структура спектральних ліній. Узгодження класичного і квантово-механічного описів простого ефекту.	2	1
П1.6	Складний ефект Зеемана. Фактор Ланде. Магнітна структура спектральних ліній при складному ефекті Зеемана. Ефект Пашена-Бака. Прецесія магнітних моментів атома.	2	1
П1.7	Обчислення енергій та ширин резонансів для атома в магнітному полі. Теорія збурень для атома у постійному магнітному полі.	3	2
П1.8	Чисельне інтегрування рівняння Шредінгера для атома в магнітному полі. Операторна теорія збурень Глушкова-Іванова.	3	2
<b>ЗМ-П2</b>	<b>Дослідження спектральних характеристик багатоелектронних атомів у зовнішньому електромагнітному полі</b>	<b>20</b>	<b>10</b>
П2.1	Розрахунок енергетичного спектра рідберговських атомів в схрещених електричному і магнітному полях.	2	1
П2.2	Метод квантового дефекту. Статистичний аналіз енергетичних спектрів рідберговських атомів в схрещених електричному і магнітному полях.	2	1
П2.3	Релятивістський енергетичний підхід і техніка моментів радіаційних ліній поглинання і випромінювання. Розрахунок характеристик багатофотонних резонансів в атомах у полі імпульсу лазерного випромінювання.	2	1
П2.4	Розрахунок моментів радіаційних ліній: розрахунок сум другого порядку релятивістської теорії збурень методом Іванова-Іванової.	2	1
П2.5	Моделювання кінетики різниці заселеності резонансних рівнів атомів в полі електромагнітного імпульсу різної форми.	2	1
П2.6	Моделювання оптичного пропускання при багатофотонному поглинанні для ансамблю атомів в лазерному полі. Бістабільність оптичного пропускання при трьох-фотонному поглинанні в парах цезію.	2	1
П2.7	Кінетика енергообміну в різних молекулах в середовищі буферного газу під дією інтенсивного лазерного випромінювання. Селективна фотодисоціація і фотоіонізація молекул: оптимізаційні моделі.	2	1
<b>ЗМ-КуР</b>	<b>Курсова робота</b>	<b>-</b>	<b>15</b>
	<b>Підготовка до заліку</b>		<b>5</b>
<b>Разом:</b>		<b>45</b>	<b>45</b>

Консультації проводить доцент Флорко Т.О. 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: flortatyana@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
<b>ЗМ-Л1</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Самопідготовка до лекцій, опрацювання теоретичного матеріалу за конспектами лекцій і рекомендованими навчальними посібниками, монографічній навчальній літературі, включаючи інформаційні загальноосвітні ресурси;</li> <li>• Виконання завдань на самостійну роботу, підготовка до усного опитування або тестування;</li> <li>• Самостійне вивчення з рекомендованого переліку додаткових теоретичних питань, нерозглянутих на лекціях,</li> <li>• Виконання запропонованих викладачем додаткових завдань на самостійну роботу з метою поглиблення та закріплення знань, розвитку аналітичних навичок з проблематики навчальної дисципліни.</li> <li>• Підготовка до модульної контрольної роботи (обов'язкова)</li> </ul>	<p>3</p> <p>3</p> <p>2</p> <p>2</p> <p>5</p>	1-8 тижні
<b>ЗМ-Л2</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Самопідготовка до лекцій, опрацювання теоретичного матеріалу за конспектами лекцій і рекомендованими навчальними посібниками, монографічній навчальній літературі, включаючи інформаційні загальноосвітні ресурси;</li> <li>• Виконання завдань на самостійну роботу, підготовка до усного опитування;</li> <li>• Самостійне вивчення з рекомендованого переліку додаткових теоретичних питань, нерозглянутих на лекціях,</li> <li>• Виконання запропонованих викладачем додаткових завдань на самостійну роботу з метою поглиблення та закріплення знань, розвитку аналітичних навичок з проблематики навчальної дисципліни.</li> <li>• Підготовка до модульної контрольної роботи (обов'язкова)</li> </ul>	<p>3</p> <p>3</p> <p>2</p> <p>2</p> <p>5</p>	9-15 тижні
<b>ЗМ-П1</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Самопідготовка до практичних занять, повторення раніше вивченого теоретичного матеріалу;</li> <li>• 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;</li> <li>• Підготовка до усного опитування або тестування, перевірки практичних робіт у форматі взаємного оцінювання та обґрунтованих висновків;</li> <li>• Розв'язування додаткових задач за тематикою практичних занять.</li> <li>• Підготовка до модульної контрольної роботи (обов'язкова)</li> </ul>	<p>3</p> <p>3</p> <p>2</p> <p>2</p> <p>5</p>	1-8 тижні

Код	Узагальнені дані по всіх змістових модулях про завдання на самостійну роботу	Кількість годин	Строк проведення
<b>ЗМ-П2</b>	• Самопідготовка до практичних занять, повторення раніше вивченого теоретичного матеріалу;	2	9-15 тижні
	• 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	
<b>ЗМ-КуР</b>	• Виконання етапів курсової (дослідницької) роботи згідно завдання, виданого викладачем;	10	2-12 тижні
	• Підготовка до захисту курсової роботи (обов'язкова).	5	13-14 тижні
<b>ОКР</b>	• Підготовка до залікової контрольної роботи (обов'язкова).	5	14-15 тижні
<b>Разом:</b>		<b>75</b>	

### 3. РЕКОМЕНДАЦІ ДО САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ АСПІРАНТІВ

#### 3.1. Загальні повчання

Самостійна робота є основним засобом засвоєння здобувачем вищої освіти навчального матеріалу дисципліни «Оптика і спектроскопія атомів та молекул у зовнішньому електромагнітному полі» 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;
- виконання курсової роботи та підготовку до її захисту;
- підготовку до залікової контрольної роботи.

*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 75 годин.

3.1.1 Модуль ЛІ, ПІ. Спектроскопія атомів у зовнішніх електричному та магнітному полях Дослідження спектральних характеристик атомів та молекул у зовнішньому електромагнітному полі

#### 3.1.1.1 Повчання

Розглядають наступні питання: Поняття сильного і слабого полів. Основні характеристики електромагнітного поля. Експериментальні методи дослідження спектральних характеристик атомів та молекул. Вплив зовнішнього електричного поля на спектральні терми атомів та молекул. Дослідження спектральних характеристик атомів та молекул у зовнішньому електричному полі. Дослідження спектральних характеристик атомів та молекул у зовнішньому магнітному полі. Обчислення енергій та ширин резонансів Штарка в спектрах атомів та молекул.

Найвне навчально-методичне забезпечення:

1. Глушков О.В. Атом в електромагнітному полі. -Київ: КНТ, 2005. -800С.
2. Глушков О.В., Релятивістські і кореляційні ефекти в спектрах атомних систем. -Одеса: Екологія. -2006.
3. Глушков О.В., Оптимальні лазерні методи детектування та поділення ізотопів. -Одеса: Екологія. -2013.
4. Ландау Л.Д. Квантовая механика/ Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. -М.: Наука, 1977. -700С.
5. Летохов В.С. Нелінійні селективні фотопроцеси в атомах і молекулах / В.С.Летохов.-М.: Наука. -1983. -408с.; Laser Spektroskopie.- Berlin: Akad.,1977. -330Р.

#### 3.1.1.2 Питання до самоперевірки

1. Поняття сильного і слабого полів. ([3], стр.58-63)
2. Основні характеристики електромагнітного поля. ([1], стр.91-105)
3. Експериментальні методи дослідження спектральних характеристик атомів та молекул у зовнішньому електромагнітному полі. ([1], стр.107-117)
4. Вплив зовнішнього електричного поля на спектральні терми атомів та молекул. ([2], стр.53-59)
5. Індукований електричний момент атома. ([2], стр.59-65)
6. Лінійний і квадратичний ефект Штарка. ([1], стр.119-125)
7. Спектроскопія атома водню і багатоелектронних атомів у зовнішньому електричному полі. ([3], стр.71-75)
8. Визначення інтенсивностей штарковських компонент. ([1], стр.13-17)
9. Теоретичні методи обчислення енергій та ширин резонансів Штарка в спектрах атомів та молекул. ([1], стр.128-135)
10. Квазікласичне наближення. ([2], стр.67-77)

3.1.2 Модуль Л2, П2. Спектроскопія багатоелектронних атомів в змінному електричному полі Дослідження спектральних характеристик багатоелектронних атомів у зовнішньому електромагнітному полі

### 3.1.2.1 Повчання

Розглядають наступні питання: Гамільтоніан атома в електромагнітному полі. Метод квазіенергій і теорема Флоке. Метод комплексних координат для багато-електронних рідберговських атомів в електромагнітному полі. Специфічні риси ефекту Штарка в змінному полі. Теоретична спектроскопія атомів в схрещених електричному і магнітному полях: статистичний аналіз енергетичних спектрів. Розрахунок енергетичного спектра рідберговських атомів в схрещених електричному і магнітному полях. Метод квантового дефекту.

Найвне навчально-методичне забезпечення:

6. Глушков О.В. Атом в електромагнітному полі. -Київ: КНТ, 2005. -800С.
7. Глушков О.В., Релятивістські і кореляційні ефекти в спектрах атомних систем. -Одеса: Екологія. -2006.
8. Глушков О.В., Оптимальні лазерні методи детектування та поділення ізотопів. -Одеса: Екологія. -2013.
9. Ландау Л.Д. Квантовая механика/ Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. -М.: Наука, 1977. -700С.
10. Летохов В.С. Нелінійні селективні фотопроцеси в атомах і молекулах / В.С.Летохов.-М.: Наука. -1983. -408с.; Laser Spektroskopie.- Berlin: Akad.,1977. -330Р.

### 3.1.2.2 Питання до самоперевірки

1. Статистичний аналіз енергетичних спектрів рідберговських атомів в схрещених електричному і магнітному полях. ([3], стр.41-55)
2. Спектроскопія атомів у полі лазерного випромінювання. ([1], стр.21-35)
3. Динамічна поляризованість. ([1], стр.41-47)
4. Скалярна, тензорна і аксіальна поляризованість. ([4],стр.33-39)
5. Випадок слабкого поля. ([2], стр.41-45)
6. Граничні аналітичні вирази для атома водню. ([1], стр.58-65)
7. Штарковське розщеплення рідберговських станів атома. ([2], стр.46-49)
8. Метод Крамерса-Хеннебергера. ([3], стр.22-37)
9. Динамічний штарковське зрушення в негативних іонах. ([4], стр.71-85)
10. Атом в полі лазерного випромінювання. ([1], стр.53-58)
11. Релятивістський енергетичний підхід і техніка моментів радіаційних ліній поглинання і випромінювання. ([1], стр.35-37)
12. Релятивістська теорія розрахунку характеристик багатофотонних резонансів в атомах у полі імпульсу лазерного випромінювання. ([1], стр. 71-88)

### **3.2. Рекомендований перелік**

#### **додаткових теоретичних питань для самостійного вивчення**

1. Операторна теорія збурень і нерелятивістський одно-канальний метод квантового дефекту (КД). ([5], стр.70-81)
2. Нова спектроскопічна інформація про поведінку рідбергівських атомів при різних напруженостях електричного поля. ([4], стр.58-65)
3. Новий підхід до розрахунку характеристик багатоелектронних рідбергівських атомів у зовнішньому змінному електромагнітному полі. ([1], стр.83-87)
4. Новий підхід до опису характеристик рідбергівських атомів у схрещених (статичних) електричному та магнітному полях. ([2], стр.41-45)
5. Нутація Рубі, кооперативний ефект Дике для кількох атомів. ([1], стр.53-58)
6. Вивчення часових варіацій сталої тонкої структури, ефектів незберігання парності у атомно-ядерних системах. ([5], стр.50-61)
7. Комплекс математичного забезпечення для розрахунків енергетических характеристик рідбергівських атомів у зовнішніх сильних полях. ([1], стр.22-28)
8. Основні характеристики атомів у слабких зовнішніх полях. ([2], стр.46-49)
9. Рівняння Шредінгера для електронної хвильової функції з урахуванням потенціалу однорідного електричного поля і кулонівського потенціалу ядра (остову). ([3], стр.22-37)
10. Метод варіацій Марка-Аронсона і кореляційного інтегралу Гроссбергера-Прокаччі. ([2], стр.66-69)

### **3.3. Вказівки з виконання курсової (дослідницької) роботи**

Окремою складовою самостійної роботи з дисципліни «Оптика і спектроскопія атомів та молекул у зовнішньому електромагнітному полі» 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

1. Розрахунок енергетичних характеристик рідбергівських атомів у сильному сталому електричному (ДС ефект Штарку). ([1], стр.22-37)
2. Розрахунок енергій та ширин штарківських резонансів у лужних атомах при різних напруженостях електричного поля. ([4] стр.41-47)
3. Перевірка здійсненності умов скейлінгу у залежностях приведених енергій і ширин штарківських резонансів від приведеної напруженості електричного поля для різних лужних атомів. ([3], стр.33-39)
4. Розрахунок характеристик багатоелектронних рідбергівських атомів у зовнішньому змінному електромагнітному полі на основі формалізму квазіенергетичних станів, методу комплексних координат, операторній теорії збурень і теорії квантового дефекту та модельного потенціалу. ([5], стр.58-65)
5. Чисельне моделювання динаміки іонізації атомів H, Li, Rb у рідбергівських станах у зовнішньому мікрохвильовому полі. ([2], стр.46-49)
6. Визначення залежності ймовірності іонізації атомів H, Li, Rb у рідбергівських станах від параметрів поля (амплітуди, частоти). ([5], стр.46-49)

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.

## 4. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ КОНТРОЛЬНИХ ЗАХОДІВ ТА ОЦІНЮВАННЯ ЗДОБУВАЧІВ ОСВІТИ

### 4.1. Політика навчальної дисципліни

<p>Загальна політика</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 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;</li> <li>• 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;</li> <li>• 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;</li> <li>• 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;</li> <li>• викладач заздалегідь доводить до відома здобувачів освіти час об'яви результатів підсумкового контролю;</li> <li>• теми, які виносяться на самостійне опрацювання і не входять до тем аудиторних навчальних занять, оцінюються під час підсумкового контролю;</li> <li>• 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;</li> <li>• підсумковий семестровий контроль здобувачів освіти може здійснюватися з використанням технологій дистанційного навчання – системи е-навчання університету;</li> <li>• 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).</li> </ul>
<p>Правила стосовно зарахування пропущених занять</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• допускається вільне відвідування аспірантами лекційних занять, відвідування практичних занять є обов'язковим;</li> <li>• ліквідація заборгованості з практичної частини навчальної дисципліни здійснюється за графіком, який оприлюднюється протягом двох робочих днів після закінчення занять у семестрі;</li> <li>• ліквідація заборгованості протягом заліково-екзаменаційної сесії дає можливість отримати допуск до семестрового контролю.</li> </ul>
<p>Правила щодо порушення термінів</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• роботи, які здаються із порушенням термінів без поважних причин, оцінюються на нижчу оцінку;</li> <li>• 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.</li> </ul>
<p>Політика щодо призначення заохочувальних та штрафних балів</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• здобувачам освіти можуть нараховуватися:</li> <li>• <i>заохочувальні (додаткові) бали:</i> «+0,5 бали» - за доповнення до виступу, суттєві запитання до доповідачів, вміння аргументовано висловлювати свої думки, творче опрацювали всіх питань лекції та зразкове ведення опорного конспекту; «+1 бал» - за підготовку творчої роботи (завдання, презентації);</li> <li>• <i>штрафні бали:</i> «-1 бал» - за пропуск практичного заняття.</li> </ul>



	<p>«-0,5 бали» - за невчасну здачу звіту практичної роботи (етапу курсової роботи);</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• мінімальна оцінка виконання змістового модуля після зниження не може бути нижча 60% від максимально можливої.</li> </ul>
Політика щодо академічної доброчесності	<ul style="list-style-type: none"> <li>• оцінювання усних відповідей, практичних робіт, самостійної роботи, результатів виконання тестових завдань та ін. здійснюється з позицій дотримання академічної доброчесності;</li> <li>• усі письмові роботи перевіряються на наявність плагіату і допускаються до захисту із коректними текстовими запозиченнями не більше 25%;</li> <li>• 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);</li> <li>• списування під час проведення контрольних заходів, у тому числі за допомогою мобільних пристроїв, заборонено.</li> </ul>

## 4.2. Види контролю та рейтингова система оцінювання результатів навчання

### 4.2.1. Види контролю

Контрольні заходи з навчальної дисципліни «Оптика і спектроскопія атомів та молекул у зовнішньому електромагнітному полі» 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.

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:

$$B = 0,75 \times OЗ + 0,25 \times ОКР,$$

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

ОКР – оцінка залікової контрольної роботи, бали.

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

#### 4.3.1. ЗМ-Л1, ЗМ-Л2

Оцінювання лекційних змістових блоків здійснюється на підставі результатів модульних контрольних робіт, які проводяться вкінці освоєння змістових блоків ЗМ-Л1, ЗМ-Л2.

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 вкінці освоєння змістових блоків ЗМ-П1, ЗМ-П2, ЗМ-КуР.

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 кожну 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
<b>ЗМ-Л1</b>	20 балів
<b>ЗМ-Л2</b>	20 балів
<b>ЗМ-П1</b>	20 балів
<b>ЗМ-П2</b>	20 балів
<b>ЗМ-КуР</b>	20 балів
<b>Всього:</b>	<b>100 балів</b>

#### 4.3.5. Оцінка залікової контрольної роботи (ОКР)

Кількість балів за правильне виконання одного тестового завдання		Кількість тестових завдань	Сума балів	
Max	5		Max	100
Min*	0	20	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 модульну 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.

#### 4.4. Критерії оцінювання засвоєння навчальної дисципліни

Оцінка		
Шкала університету (%) $V = 0,75 \times O3 + 0,25 \times OKP$	За шкалою ЄКТС	За 2- бальною шкалою
<b>90-100</b>	<b>A</b>	<b>«зараховано»</b>
<b>82-89,9</b>	<b>B</b>	
<b>74-81,9</b>	<b>C</b>	
<b>64-73,9</b>	<b>D</b>	
<b>60-63,9</b>	<b>E</b>	
<b>35-59,9</b>	<b>FX</b>	<b>«не зараховано»</b>
<b>01-34,9</b>	<b>F</b>	

Оцінювання семестрового заліку здійснюється у кількісній та якісній шкалах. Кількісна оцінка (бал успішності) – це відсоток, який становить інтегральна сума балів, отриманих здобувачем освіти на поточних контрольних заходах, відносно максимально можливої суми – 100 балів. Якісна оцінка – це оцінка, яка виставляється на підставі кількісної оцінки (балу успішності) за будь-якою якісною шкалою.

Результати складання заліку оцінюються за шкалою університету (%), за шкалою ЄКТС (A, B, C, D, E, F, FX), а також за двобальною шкалою («зараховано», «не зараховано»).

Процедура проведення семестрового заліку, не передбачає присутність здобувача освіти.

Проведення семестрового заліку полягає в оцінюванні засвоєння здобувачем освіти навчального матеріалу (вмін та навичок) на підставі інтегральної кількісної оцінки результатів виконання ним видів поточних контрольних заходів та залікової контрольної роботи

Критеріями складання здобувачами освіти заліку є:

- оцінка «зараховано» за 2-бальною шкалою;
- оцінки A, B, C, D, E за шкалою ЄКТС;
- інтегральна оцінка (%) поточної роботи здобувача освіти по дисципліні (шкала університету)  $V \geq 60\%$ .

Максимальна інтегральна оцінка роботи здобувача освіти протягом семестру має дорівнювати 100%, якщо він на обов'язкових та необов'язкових заходах контролю по усіх змістових модулях отримав сумарно оцінку 100% від максимально можливої і більше.

#### 4.5. ПИТАННЯ ДО ЗАХОДІВ ПОТОЧНОГО, ПІДСУМКОВОГО ТА СЕМЕСТРОВОГО КОНТРОЛЮ

##### 4.5.1. Тестові завдання до модульної контрольної роботи модуля ЗМ-Л1 (див. [1-5]).

1. Поняття сильного і слабого полів. ([3], стр.21-36)
2. Основні характеристики електромагнітного поля. ([1], стр.117-125)
3. Експериментальні методи дослідження спектральних характеристик атомів та молекул у зовнішньому електромагнітному полі. ([5], стр.150-167)
4. Вплив зовнішнього електричного поля на спектральні терми атомів та молекул. ([1], стр.68-71)
5. Індукований електричний момент атома. ([1], стр.78-81)
6. Лінійний і квадратичний ефект Штарка. ([1], стр.98-100)
7. Спектроскопія атома водню і багатоелектронних атомів у зовнішньому електричному полі. ([2], стр.67-77)
8. Визначення інтенсивностей штарковських компонент. ([4], стр.22-37)
9. Теоретичні методи обчислення енергій та ширин резонансів Штарка в спектрах атомів та молекул. ([1], стр.87-93)
10. Квазікласичне наближення. ([4], стр.58-63)
11. Чисельний метод розв'язання рівнянь Шредінгера та Дірака. ([3], стр.21-33)
12. Операторна теорія збурень (ТЗ) Глушкова-Іванова. ([5], стр.37-45)
13. Вплив зовнішнього магнітного поля на спектральні терми атомів. ([1], стр.57-67)
14. Квантово-механічний опис ефекту Зеемана. ([2], стр.33-49)
15. Правила відбору. ([1], стр.127-131)
16. Магнітна структура спектральних ліній. ([2], стр.133-139)
17. Узгодження класичного і квантово-механічного описів простого ефекту. ([2], стр.119-125)
18. Фактор Ланде. ([1], стр.137-148)
19. Ефект Пашена-Бака. ([2], стр.127-135)
20. Теорія збурень для атому у постійному магнітному полі ([2], стр.78-97)

##### 4.5.2. Тестові завдання до модульної контрольної роботи модуля ЗМ-П1 (див. [1-5]).

1. Теоретичні методи обчислення енергій та ширин резонансів для атома в магнітному полі. ([3], стр.47-75)
2. Теорія збурень для атому у постійному магнітному полі. ([2], стр.49-52)
3. Чисельне інтегрування рівняння Шредінгера для атому в магнітному полі. ([2], стр.53-55)
4. Операторна ТЗ Глушкова-Іванова. ([1], стр.88-93)
5. Дослідження спектральних характеристик атомів та молекул у зовнішньому електричному полі. ([2], стр.45-48)
6. Дослідження спектральних характеристик атомів та молекул у зовнішньому магнітному полі. ([3], стр.22-37)
7. Обчислення енергій та ширин резонансів Штарка в спектрах атомів та молекул. ([1], стр.55-65)
8. Метод теорії збурень. ([1], стр.71-75)
9. Квазікласичне наближення. ([1], стр.81-87)
10. Чисельний метод розв'язання рівнянь Шредінгера та Дірака. ([2], стр.49-52)
11. Операторна теорія збурень Глушкова-Іванова. ([2], стр.53-55)
12. Квантово-механічний опис ефекту Зеемана. ([1], стр.22-32)
13. Правила відбору. ([1], стр.34-37)
14. Магнітна структура спектральних ліній. ([2], стр.23-30)
15. Складний ефект Зеемана. ([2], стр.31-41)

16. Магнітна структура спектральних ліній при складному ефекті Зеемана. ([1], стр.43-48)
17. Прецесія магнітних моментів атома. ([1], стр.49-55)
18. Обчислення енергій та ширин резонансів для атома в магнітному полі. ([3], стр.22-37)
19. Лінійний і квадратичний ефект Штарка. ([1], стр.101-108)
20. Ефект Пашена-Бака. ([3], стр.41-55)

#### 4.5.3. Тестові завдання до модульної контрольної роботи модуля ЗМ-Л2 (див. [1-5]).

1. Гамільтоніан атома в електромагнітному полі. ([1], стр.127-131)
2. Метод квазіенергій і теорема Флоке. ([2], стр.103-109)
3. Метод комплексних координат для багато-електронних рідберговських атомів в електромагнітному полі. ([2], стр.119-125)
4. Специфічні риси ефекту Штарка в змінному полі. ([1], стр.137-148)
5. Теоретична спектроскопія атомів в схрещених електричному і магнітному полях: статистичний аналіз енергетичних спектрів. ([2], стр.127-135)
6. Теоретичні методи розрахунку енергетичного спектра рідберговських атомів в схрещених електричному і магнітному полях. ([1], стр.150-167)
7. Метод квантового дефекту. ([3], стр.21-33)
8. Статистичний аналіз енергетичних спектрів рідберговських атомів в схрещених електричному і магнітному полях. ([1], стр.37-45)
9. Спектроскопія атомів у полі лазерного випромінювання. ([1], стр.57-67)
10. Динамічна поляризованість. ([2], стр.33-49)
11. Скалярна, тензорна і аксіальна поляризованість. ([1], стр.68-71)
12. Випадок слабого поля. ([1], стр.78-81)
13. Граничні аналітичні вирази для атома водню. ([2], стр.67-77)
14. Штарковське розщеплення рідберговських станів атома. ([4], стр.22-37)
15. Метод Крамерса-Хеннебергера. ([1], стр.87-93)
16. Динамічний штарковське зрушення в негативних іонах. ([4], стр.58-63)
17. Атом в полі лазерного випромінювання. ([1], стр.98-105)
18. Релятивістський енергетичний підхід і техніка моментів радіаційних ліній поглинання і випромінювання. ([2], стр.78-97)
19. Релятивістська теорія розрахунку характеристик багатофотонних резонансів в атомах у полі імпульсу лазерного випромінювання. ([3], стр.21-36)
20. Селективна фотодисоціація і фотоіонізація молекул: оптимізаційні моделі. ([1], стр.117-125)

#### 4.5.1. Тестові завдання до модульної контрольної роботи модуля ЗМ-П2 (див. [1-5]).

1. Техніка розрахунку моментів радіаційних ліній: розрахунок сум другого порядку релятивістської теорії збурень методом Іванова-Іванової. ([1], стр.88-93)
2. Багато-фотонні резонанси в атомі водню. ([1], стр.95-99)
3. 4-фотонний резонансний профіль переходу 6S-6F в атомі цезію. ([2], стр.56-59)
4. 4-фотонний іонізаційний профіль переходу 6S-6F в атомі цезію. ([3], стр.22-37)
5. Посилений прояв фотон-кореляційних ефектів. ([1], стр.101-108)
6. Моделювання кінетики різниці заселеності резонансних рівнів атомів в полі електромагнітного імпульсу різної форми. ([3], стр.41-55)
7. Теорія і моделювання оптичного пропускання при багатофотонному поглинанні для ансамблю атомів в лазерному полі. ([1], стр.22-32)
8. Бістабільність оптичного пропускання при трьох-фотонному ([1], стр.34-37)

- поглинанні в парах цезію.
9. Спектроскопія і багатофотонні процеси в молекулярних системах. ([2], стр.23-30)
  10. Кінетика енергообміну в різних молекулах в середовищі буферного газу під дією інтенсивного лазерного випромінювання. ([2], стр.31-41)
  11. Селективна фотодисоціація і фотоіонізація молекул: оптимізаційні моделі ([1], стр.43-48)
  12. Розрахунок енергетичного спектра рідберговських атомів в схрещених електричному і магнітному полях. ([1], стр.49-55)
  13. Метод квантового дефекту. ([2], стр.45-48)
  14. Статистичний аналіз енергетичних спектрів рідберговських атомів в схрещених електричному і магнітному полях. ([3], стр.22-37)
  15. Релятивістський енергетичний підхід і техніка моментів радіаційних ліній поглинання і випромінювання. ([1], стр.55-65)
  16. Розрахунок характеристик багатофотонних резонансів в атомах у полі імпульсу лазерного випромінювання. ([3], стр.41-55)
  17. Розрахунок моментів радіаційних ліній: розрахунок сум другого порядку релятивістської теорії збурень методом Іванова-Іванової. ([1], стр.71-75)
  18. Моделювання оптичного пропускання при багатофотонному поглинанні для ансамблю атомів в лазерному полі. ([1], стр.81-87)
  19. Бістабільність оптичного пропускання при трьох-фотонному поглинанні в парах цезію. ([2], стр.49-52)
  20. Кінетика енергообміну в різних молекулах в середовищі буферного газу під дією інтенсивного лазерного випромінювання. ([2], стр.53-55)

#### 4.5.5. Тестові завдання до залікової роботи

1. Поняття сильного і слабого полів. ([3], стр.21-36)
2. Основні характеристики електромагнітного поля. ([1], стр.117-125)
3. Експериментальні методи дослідження спектральних характеристик атомів та молекул у зовнішньому електромагнітному полі. ([5], стр.150-167)
4. Вплив зовнішнього електричного поля на спектральні терми атомів та молекул. ([1], стр.68-71)
5. Індукований електричний момент атома. ([1], стр.78-81)
6. Лінійний і квадратичний ефект Штарка. ([1], стр.98-100)
7. Спектроскопія атома водню і багатоелектронних атомів у зовнішньому електричному полі. ([2], стр.67-77)
8. Визначення інтенсивностей штарковських компонент. ([4], стр.22-37)
9. Теоретичні методи обчислення енергій та ширин резонансів Штарка в спектрах атомів та молекул. ([1], стр.87-93)
10. Квазікласичне наближення. ([4], стр.58-63)
11. Чисельний метод розв'язання рівнянь Шредінгера та Дірака. ([3], стр.21-33)
12. Операторна теорія збурень (ТЗ) Глушкова-Іванова. ([5], стр.37-45)
13. Вплив зовнішнього магнітного поля на спектральні терми атомів. ([1], стр.57-67)
14. Квантово-механічний опис ефекту Зеемана. ([2], стр.33-49)
15. Правила відбору. ([1], стр.127-131)
16. Магнітна структура спектральних ліній. ([2], стр.133-139)
17. Узгодження класичного і квантово-механічного описів простого ефекту. ([2], стр.119-125)
18. Фактор Ланде. ([1], стр.137-148)
19. Ефект Пашена-Бака. ([2], стр.127-135)
20. Теорія збурень для атому у постійному магнітному полі. ([2], стр.78-97)

21. Гамільтоніан атома в електромагнітному полі. ([1], стр.127-131)
22. Метод квазіенергій і теорема Флоке. ([2], стр.103-109)
23. Метод комплексних координат для багато-електронних рідберговських атомів в електромагнітному полі. ([2], стр.119-125)
24. Специфічні риси ефекту Штарка в змінному полі. ([1], стр.137-148)
25. Теоретична спектроскопія атомів в схрещених електричному і магнітному полях: статистичний аналіз енергетичних спектрів. ([2], стр.127-135)
26. Теоретичні методи розрахунку енергетичного спектра рідберговських атомів в схрещених електричному і магнітному полях. ([1], стр.150-167)
27. Метод квантового дефекту. ([3], стр.21-33)
28. Статистичний аналіз енергетичних спектрів рідберговських атомів в схрещених електричному і магнітному полях. ([1], стр.37-45)
29. Спектроскопія атомів у полі лазерного випромінювання. ([1], стр.57-67)
30. Динамічна поляризованість. ([2], стр.33-49)
31. Скалярна, тензорна і аксіальна поляризуємість. ([1], стр.68-71)
32. Випадок слабого поля. ([1], стр.78-81)
33. Граничні аналітичні вирази для атома водню. ([2], стр.67-77)
34. Штарковське розщеплення рідберговських станів атома. ([4], стр.22-37)
35. Метод Крамерса-Хеннебергера. ([1], стр.87-93)
36. Динамічний штарковське зрушення в негативних іонах. ([4], стр.58-63)
37. Атом в полі лазерного випромінювання. ([1], стр.98-105)
38. Релятивістський енергетичний підхід і техніка моментів радіаційних ліній поглинання і випромінювання. ([2], стр.78-97)
39. Релятивістська теорія розрахунку характеристик багатофотонних резонансів в атомах у полі імпульсу лазерного випромінювання. ([3], стр.21-36)
40. Селективна фотодисоціація і фотоіонізація молекул: оптимізаційні моделі ([1], стр.117-125)



## 5. ЛІТЕРАТУРА ДЛЯ ВИВЧЕННЯ ДИСЦИПЛІНИ

### Основна література

1. Glushkov A.V. Atom in electromagnetic field. KNT: Kiev, 2005.
2. Glushkov, A.V. Relativistic and correlation effects in spectra of atomic systems; Odessa: Astroprint: 2006.
3. Glushkov A.V., Relativistic Quantum Theory. Quantum, mechanics of Atomic Systems. Odessa: Astroprint, 2008.
4. Ландау Л.Д. Квантовая механика / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц.-М.: Наука, 1977. -700С.
5. Летохов В.С. Нелінійні селективні фотопроцеси в атомах і молекулах / В.С.Летохов.-М.: Наука.-1983.-408с.; Laser Spektroskopie.- Berlin: Akad.,1977.-330Р.

### Додаткова література:

1. Мейтланд А., Данн А. Введение в теорию лазеров.-М.:Наука, 1988.-408С.
2. Khetselius, O. Yu. Hyperfine structure of atomic spectra; Astroprint: Odessa, **2008**.
3. Ахманов С.А., Дьяков Ю.Е., Чиркин А.С. Загальна фізика. Оптика. Квантова фізика.-Київ: Вища школа, 1991.-280С.
4. Khetselius, O.Yu. Quantum structure of electroweak interaction in heavy finite Fermi-systems. Astroprint: Odessa, **2011**.
5. Glushkov, A.V. Relativistic and correlation effects in spectra of atomic systems; Odessa: Astroprint: 2006.
6. Glushkov A.V. Atom in electromagnetic field. KNT: Kiev, 2005.
7. 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)
8. 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>
9. [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)
10. 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>
11. 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.
12. Khetselius, O. Relativistic calculation of the hyperfine structure parameters for heavy elements and laser detection of the heavy isotopes. Phys. Scripta 2009, 135, 014023.
13. 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.
14. 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.
15. Glushkov A.V., Khetselius O.Yu., Svinarenko A.A., Buyadzhi V.V., Methods of computational mathematics and mathematical physics. P.1. TES: Odessa, 2015.
16. 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;

17. 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.
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.* 2017, 905(1), 012004.
19. 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>
20. 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>
21. 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>
22. 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.
23. 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
24. 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