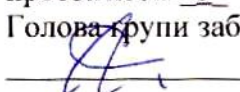
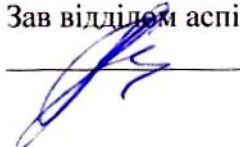


МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Одеський державний екологічний університет

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

УЗГОДЖЕНО
Зав відділом аспірантури і докторантури
 Вітовська О. Т.

СИЛАБУС

навчальної дисципліни

«АТОМНА ОПТИКА ТА СПЕКТРОСКОПІЯ»

(назва навчальної дисципліни)

104 Фізика та астрономія

(шифр та назва спеціальності)

Оптика і спектроскопія квантових систем

(назва освітньої програми)

третій, денна

(рівень вищої освіти) (форма навчання)

1

2

5/150

залік

(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
Ігнатенко Г.В., доцент кафедри вищої та прикладної математики, к.ф.-м.н., доцент

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:

Ігнатенко Г.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 , ignatenkoav13@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-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

Мета навчальної дисципліни	Засвоєння (забезпечення) низки компетентностей, зокрема, оволодіння сучасним апаратом атомної оптики та спектроскопії, а також здатність розвитку нових та удосконалення існуючих методів опису спектрів атомів та багатозарядних іонів, їх енергетичних та спектроскопічних характеристик на основі методів квантової механіки атомів та квантової електродинаміки.
Компетентності, які повинні бути набуті або розвинуті	<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.</p> <p>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>
Програмні результати навчання	<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 атомної оптики та спектроскопії, а також як розвивати нові та удосконалювати існуючі методи опису спектрів атомів та багатозарядних іонів, їх енергетичних та спектроскопічних характеристик на основі методів квантової механіки атомів та квантової електродинаміки, та як досягти наукових результатів, які створюють потенційно нові знання в теорії та практиці атомної оптики та

	спектроскопії.
Базові вміння	Використовувати сучасні або розроблювати нові підходи, зокрема, на основі методів квантової механіки, електродинаміки, квантової хімії, а також методів релятивістської квантової теорії тощо до опису спектрів атомів та іонів, їх енергетичних та спектроскопічних характеристик.
Базові навички	Здатність розвитку нових та удосконалення існуючих математичних методів аналізу, моделювання та прогнозування спектрів атомів та багатозарядних іонів, їх енергетичних та спектроскопічних характеристик на основі методів квантової механіки атомів та квантової електродинаміки.
Пов'язані силабуси	Немає
Попередня дисципліна	Обчислювальні методи оптики та динаміки квантових та лазерних систем
Наступна дисципліна	Науково-педагогічна практика
Кількість годин	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	
		Ауди-торні	Самоств. робота
ЗМ-Л1	Введення в атомну оптику та спектроскопію. Теорія спектральних ліній та випромінювання. Квантово-механічний апарат атомних спектрів. Систематика електронних станів складних атомів. Релятивістська атомна спектроскопія.	15	15
Л1.1	Спектри поглинання, спектри випускання, спектри комбінаційного розсіювання. Вимірювані в спектроскопії величини і їх розмірності. Енергія стаціонарного стану. Поняття енергетичного рівня. Ступінь виродження енергетичних рівнів. Випромінювальні і реальний час життя збуджених енергетичних рівнів. Поняття заселеності енергетичного рівня.	1	1
Л1.2	Загальна формула для заселеності збудженого стану. Функція розподілу часток по енергетичним рівням. Умови термодинамічної рівноваги. Статистична сума. Формула Больцмана. Відносне і абсолютне розбраті-поділ часток по енергетичним рівням в умовах термодинамічного рівноваги. Коефіцієнти Ейнштейна, як характеристики квантових переходів, зв'язок між ними. Ймовірності квантових переходів.	1	1
Л1.3	Золоте правило Фермі. Матричний елемент дипольного моменту квантового переходу, його фізичний зміст. Визначення величини ймовірності (сили осцилятора, сили лінії) квантового переходу. Правила відбору та інтенсивність спектральних ліній різного типу. Математичні основи теорії випромінювання та розсіювання світла. Оператор електромагнітної взаємодії. Електричне та магнітне мультипольне випромінювання. Релятивістська квантова теорія електромагнітного випромінювання.	1	1
Л1.4	Релятивістський енергетичний підхід до визначення сил осциляторів багатозарядних іонів. Випромінювання атомів: електричний та магнітний тип. Природна ширина спектральних ліній. Розширення спектральних ліній і смуг в газовій фазі. Допплерівське уширення спектральних ліній. Ударне розширення. Поняття про розширенні спектральних ліній, обумовлене конфігураційною взаємодією частинок, впливом електричних полів (ефект Штарка), впливом магнітних полів (ефект Зеемана), спіно-орбітальною взаємодією (мультиплетність розщеплення).	1	1
Л1.5	Спектральна густина коефіцієнтів Ейнштейна. Спектральна густина потужності випромінювання і поглинання. Інтегральна інтенсивність спектральних смуг. Рівняння Шредінгера для одноелектронної атомної системи. Власна функція і власне значення оператора Гамільтона для електрону в атомі водню та воднеподібній системі. Класифікація станів електрону.	1	1
Л1.6	Головне квантове число. Квантування модуля орбітального моменту імпульсу електрона; орбітальне квантове число. Квантування проєкції орбітального моменту імпульсу електрона; магнітне квантове число. Квантування проєкції спінового моменту імпульсу електрона; спінове квантове число. Наближення Хартрі-Фока. Квантова електродинаміка атомів та спектроскопія. Релятивістське рівняння Дірака для електрона у кулонівському полі.	2	2

Код	Назви змістовних модулів та перелік тем лекційних занять	Кількість годин	
		Ауди-торні	Самост. робота
Л1.7	Релятивістська (КЕД) багаточастинкова теорія збурень до визначення енергетичних рівнів, констант надтонкої структури для релятивістських атомних систем. Функція Гріна рівняння Дірака з несингулярним потенціалом та комплексною енергією. Фізична сутність спін-орбітальної взаємодії. Тонка структура енергетичних рівнів.	2	2
Л1.8	Вплив спін-орбітальної взаємодії на структуру спектральних ліній. Часткове зняття заборони по спіновому квантовому числу. Опис стану складного атома в одноелектронному наближенні. Поняття атомної орбіталі, електронної оболонки і електронного шару атома. Електронна конфігурація складного атома в основному і збудженому станах. Облік спін-орбітальної та міжелектронної магнітної взаємодій. Типи зв'язків електронів в складних атомах. Нормальний тип зв'язку (Рассела-Саундерса).	2	2
Л1.9	Мультиплетність. Спектроскопічний терм атома. Правила Гунда. Сутність L-S та зв'язків. Проміжні типи зв'язку електронів в складних атомах. Надтонка структура атомних спектрів. Фізична природа надтонкої структури спектрів. Магнітний дипольний і електричний квадрупольний моменти ядра. Визначення констант A, B надтонкого розщеплення.	2	2
Л1.10	Визначення спина ядра I і моментів μ , Q з надтонкого розщеплення. Квантова електродинаміка та спектри атомів. Теорія радіаційних поправок. Лембівський зсув та поляризація вакууму. Електромагнітний форм-фактор електрона та магнітний момент. Радіаційні поправки до енергетичних рівнів атомів. Радіаційний зсув енергетичних рівнів атомів, мезоатомів, адронних атомів.	2	2
ЗМ-Л2	Спектроскопія атомів у зовнішніх електричному та магнітному полях. Спектроскопія кооперативних процесів. Спектри атомів. Спектри атомів. Періодична таблиця Менделєєва.	15	15
Л2.1	Атом у зовнішніх електричному та магнітному полях. Поняття сильного і слабого полів. Вплив зовнішнього електричного поля на терми атома. Ефект Штарка (ДС ефект). Індукований електричний момент атома. Лінійний і квадратичний ефект Штарка. Динамічний АС ефект Штарка. Теоретичні методи обчислення енергій та ширин резонансів Штарка.	1	1
Л2.2	Вплив зовнішнього магнітного поля на терми атомів. Теорія збурень для атому у постійному електричному та магнітному полях. Чисельне інтегрування рівняння Шредінгера для атому в електричному полі. Операторна теорія збурень Глушкова-Іванова. Спектроскопія атомів у полі лазерного випромінювання.	1	1
Л2.3	Ефект Зеемана. Квантово-механічний опис ефекта Зеемана. Теоретичні методи обчислення енергій та ширин резонансів для атома в магнітному полі. Простий ефект Зеемана. Правила відбору. Магнітна структура спектральних ліній. Узгодження класичного і квантово-механічного описів простого ефекту. Складний ефект Зеемана.	1	1

Код	Назви змістовних модулів та перелік тем лекційних занять	Кількість годин	
		Ауди-торні	Самост. робота
Л2.4	Фактор Ланде. Магнітна структура спектральних ліній при складному ефекті Зеемана. Ефект Пашена-Бака. Прецесія магнітних моментів атома. Нерелятивістська та релятивістська теорії фотоэффекту. Спектроскопія нового класу кооперативних лазерних електрон-гамма-ядерних ефектів в атомних системах. Релятивістський енергетичний підхід в теорії кооперативних електрон- гамма-ядерних процесів.	1	1
Л2.5	Ефекти типу НЕЕТ, НЕЕС. Огляд основних теоретичних і експериментальних робіт щодо процесів типу «ядерне збудження – електронні переходи». Релятивістський енергетичний підхід до опису процесів типу «ядерне збудження – електронні переходи». Приклади визначення ймовірностей кооперативних процесів. Електрон-бета-ядерна спектроскопія атомів.	1	1
Л2.6	Теоретичні моделі електронного перегрупування, індукованого ядерною трансмутацією. Спектроскопія кооперативних мюон- гамма-ядерних процесів: Захоплення негативних мюонів і метастабільна розрядка ядра. Релятивістська теорія розряду метастабільних ядер під час захоплення негативного мюона.	2	2
Л2.7	Спектри та електронна конфігурація атомів лужних металів в основному стані. Квантовий дефект, його фізичний зміст. Закономірності в схемі енергетичних рівнів атомів лужних металів. Правила відбору по квантовим числам. Спектральні серії атомів лужних металів. Дублетних структура енергетичних рівнів і спектральних ліній.	2	2
Л2.8	Атоми з s ² - електронною конфігурацією в основному (нормальному) стані. Спектр атома гелія та лужно-земельних елементів. Мультиплетність розщеплення енергетичних рівнів. Класифікація атомів з р-оболонками, які заповнюються. Спектральні закономірності атомів з p ₁ - і p ₅ - конфігурацією основного стану. Електронна конфігурація основного та збуджених станів атомів галоїдів. Спектри атомів з p ₂ і p ₄ -конфігураціями.	2	2
Л2.9	Електронні конфігурації атомів вуглецю, кремнію, германію, олова, свинцю. Мультиплетність розщеплення спектральних ліній. Спектральні закономірності атомів кисню, сірки, селену, телуру. Спектри атомів з p ₃ - конфігурацією основного стану. Закономірності та особливості спектрів та електронної будови атомів інертних газів. Спектри атомів з d та f-оболонками.	2	2
Л2.10	Спектри атомів лантанідів та актинідів. Вплив релятивістських ефектів (спін-орбітальної взаємодії) на структуру та інтенсивність спектральних ліній. Загальна характеристика рентгенівських спектрів поглинання та випромінювання. Спектри надважких трансуранових елементів. Кількісні основи нової спектроскопії (фізики та хімії) надважких трансуранових елементів.	2	2
Разом:		30	30

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	Методи обчислення ймовірностей радіаційних переходів у спектрах атомів. Теоретичне обчислення енергетичних спектрів атомів. Теорія обчислення параметрів тонкої та надтонкої структури спектрів.	25	20
П1.1	Коефіцієнти Ейнштейна, як характеристики квантових переходів, зв'язок між ними. Ймовірності квантових переходів. Золоте правило Фермі. Матричний елемент дипольного моменту квантового переходу, його фізичний зміст. Визначення величини ймовірності (сили осцилятора, сили лінії) квантового переходу.	2	2
П1.2	Правила відбору та інтенсивність спектральних ліній різного типу. Математичні основи теорії випромінювання та розсіювання світла. Оператор електромагнітної взаємодії. Електричне та магнітне мультипольне випромінювання. Релятивістська квантова теорія електромагнітного випромінювання.	2	2
П1.3	Релятивістський енергетичний підхід до визначення сил осциляторів багатозарядних іонів. Випромінювання атомів: електричний та магнітний тип. Природна ширина спектральних ліній. Розширення спектральних ліній і смуг в газовій фазі. Доплерівське уширення спектральних ліній.	2	2
П1.4	Ударне розширення. Поняття про розширенні спектральних ліній, обумовлене конфігураційною взаємодією частинок, впливом електричних полів (ефект Штарка), впливом магнітних полів (ефект Зеемана), спін-орбітальною взаємодією (мультиплетність розщеплення).	2	2
П1.5	Рівняння Шредінгера для одноелектронної атомної системи. Власна функція і власне значення оператора Гамільтона для електрону в атомі водню та воднеподібній системі. Класифікація станів електрону. Наближення Хартрі-Фока. Квантова електродинаміка атомів та спектроскопія.	2	2
П1.6	Релятивістське рівняння Дірака для електрона у кулонівському полі. Релятивістська (КЕД) багаточастинкова теорія збурень до визначення енергетичних рівнів, констант надтонкої структури для релятивістських атомних систем.	2	2
П1.7	Функція Гріна рівняння Дірака з несингулярним потенціалом та комплексною енергією. Електронна конфігурація складного атома в основному і збудженому станах. Облік спін-орбітальної та міжелектронної магнітної взаємодій.	2	2
П1.8	Типи зв'язків електронів в складних атомах. Нормальний тип зв'язку (Рассела-Саундерса). Спектроскопічне позначення станів складного атома. Мультиплетність. Спектроскопічний терм атома.	3	2
П1.9	Правила Гунда. Сутність L-S та зв'язків. Проміжні типи зв'язку електронів в складних атомах. Надтонка структура атомних спектрів. Фізична природа надтонкої структури спектрів.	4	2
П1.10	Магнітний дипольний і електричний квадрупольний моменти ядра. Визначення констант A, B надтонкого розщеплення. Визначення спина ядра I і моментів μ , Q з надтонкого розщеплення. Квантова електродинаміка та спектри атомів. Теорія радіаційних поправок.	4	2

Код	Назви змістовних модулів та перелік тем лекційних занять	Кількість годин	
		Ауди-торні	Самост. робота
ЗМ-П2	Теоретичні методи обчислення енергій та ширин резонансів атома в електричному полі. Релятивістський енергетичний підхід в теорії кооперативних електрон- гамма-ядерних процесів	20	10
П2.1	Теоретичні методи обчислення енергій та ширин резонансів Штарка. Вплив зовнішнього магнітного поля на терми атомів. Теорія збурень для атому у постійному електричному та магнітному полях.	2	1
П2.2	Чисельне інтегрування рівняння Шредінгера для атому в електричному полі. Операторна теорія збурень Глушкова-Іванова. Спектроскопія атомів у полі лазерного випромінювання.	2	1
П2.3	Ефект Зеемана. Квантово-механічний опис ефекта Зеемана. Теоретичні методи обчислення енергій та ширин резонансів для атома в магнітному полі. Простий ефект Зеемана.	2	1
П2.4	Правила відбору. Магнітна структура спектральних ліній. Узгодження класичного і квантово-механічного описів простого ефекту. Складний ефект Зеемана. Фактор Ланде.	2	1
П2.5	Магнітна структура спектральних ліній при складному ефекті Зеемана. Ефект Пашена-Бака. Прецесія магнітних моментів атома. Нерелятивістська та релятивістська теорії фотоефекту.	2	1
П2.6	Спектроскопія нового класу кооперативних лазерних електрон-гамма-ядерних ефектів в атомних системах. Релятивістський енергетичний підхід в теорії кооперативних електрон- гамма-ядерних процесів.	2	1
П2.7	Ефекти типу NEET, NEEC. Огляд основних теоретичних і експериментальних робіт щодо процесів типу «ядерне збудження – електронні переходи».	4	2
П2.8	Релятивістський енергетичний підхід до опису процесів типу «ядерне збудження – електронні переходи». Приклади визначення ймовірностей кооперативних процесів.	4	2
ЗМ-Кур	Курсова робота	-	10
	Підготовка до заліку		5
Разом:		45	45

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	<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. • Підготовка до модульної контрольної роботи (обов'язкова) 	<p style="text-align: center;">3</p> <p style="text-align: center;">3</p> <p style="text-align: center;">2</p> <p style="text-align: center;">2</p> <p style="text-align: center;">5</p>	1-8 тижні
ЗМ-Л2	<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; • 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. • Підготовка до модульної контрольної роботи (обов'язкова) 	<p style="text-align: center;">3</p> <p style="text-align: center;">3</p> <p style="text-align: center;">2</p> <p style="text-align: center;">2</p> <p style="text-align: center;">5</p>	9-15 тижні
ЗМ-П1	<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. • Підготовка до модульної контрольної роботи (обов'язкова) 	<p style="text-align: center;">3</p> <p style="text-align: center;">3</p> <p style="text-align: center;">2</p> <p style="text-align: center;">2</p> <p style="text-align: center;">5</p>	1-8 тижні

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

3. РЕКОМЕНДАЦІЇ ДО САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ АСПІРАНТІВ

3.1. Загальні повчання

Самостійна робота є основним засобом засвоєння здобувачем вищої освіти навчального матеріалу дисципліни «Атомна оптика та спектроскопія» 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, виносить 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 Л1, П1. Введення в атомну оптику та спектроскопію. Методи обчислення характеристик атомних систем.

3.1.1.1 Повчання

Розглядають наступні питання: Теорія спектральних ліній та випромінювання. Квантово-механічний апарат атомних спектрів. Систематика електронних станів складних атомів. Релятивістська атомна спектроскопія. Методи обчислення ймовірностей радіаційних переходів у спектрах атомів. Теоретичне обчислення енергетичних спектрів атомів. Теорія обчислення параметрів тонкої та надтонкої структури спектрів.

Найважливіше 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. Глушков А.В. Релятивистская квантовая теория. Квантовая механика атомных систем.- Одесса: Экология.-2008. –700С.
5. Глушков А.В., Релятивистские и корреляционные эффекты в спектрах атомных систем.- Одесса: Экология.-2006. –450С.

3.1.1.2 Питання до самоперевірки

1. Поняття заселеності енергетичного рівня. ([1], стор. 42-56)
2. Функція розподілу часток по енергетичним рівням. ([1], стор. 57-65)
3. Ймовірності квантових переходів. ([4], стор. 325-348)
4. Правила відбору та інтенсивність спектральних ліній різного типу. ([4], стор. 352-359)
5. Природна ширина спектральних ліній. ([2], стор. 33-47)
6. Класифікація станів електрону. ([3], стор. 52-58)
7. Головне квантове число. ([3], стор. 142-144)
8. Орбітальне квантове число. ([3], стор. 144-145)
9. Магнітне квантове число. ([3], стор. 145-147)
10. Тонка структура енергетичних рівнів. ([5], стор. 221-231)
11. Радіаційні поправки до енергетичних рівнів атомів. ([5], стор. 274-378)
12. Радіаційний зсув енергетичних рівнів атомів, мезоатомів, адронних атомів. ([3], стор. 278-281)

3.1.2 Модуль Л2, П2. Спектроскопія атомів у зовнішніх електричному та магнітному полях. Теоретичні методи обчислення характеристик атомних систем.

3.1.2.1 Повчання

Розглядають наступні питання: Спектроскопія атомів у зовнішніх електричному та магнітному полях. Спектроскопія кооперативних процесів. Спектри атомів. Спектри атомів. Періодична таблиця Менделєєва. Теоретичні методи обчислення енергій та ширин резонансів атома в електричному полі. Релятивістський енергетичний підхід в теорії кооперативних електрон-гамма-ядерних процесів

Найважче 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. Глушков А.В. Релятивистская квантовая теория. Квантовая механика атомных систем.- Одесса: Экология.-2008. –700С.
5. Глушков А.В., Релятивистские и корреляционные эффекты в спектрах атомных систем.- Одесса: Экология.-2006. –450С.

3.1.2.2 Питання до самоперевірки

1. Поняття сильного і слабого полів. ([1], стор. 132-145)
2. Теоретичні методи обчислення енергій та ширин резонансів. ([5], стор. 344-395)
3. Теорія збурень для атому у постійному електричному та магнітному полях. ([4], стор. 131-159)
4. Теоретичні методи обчислення енергій та ширин резонансів для атома в магнітному полі. ([5], стор. 344-395)
5. Правила відбору. ([4], стор. 352-359)
6. Прецесія магнітних моментів атома. ([2], стор. 412-415)
7. Ефекти типу NEET, NEEC. ([4], стор. 562-569)
8. Спектри та електронна конфігурація атомів лужних металів в основному стані. ([3], стор. 132-146)
9. Закономірності в схемі енергетичних рівнів атомів лужних металів. ([3], стор. 150-153)
10. Мультиплетність розщеплення енергетичних рівнів. ([5], стор. 238-244)
11. Електронна конфігурація основного та збуджених станів атомів галоїдів. ([4], стор. 221-229)
12. Закономірності та особливості спектрів та електронної будови атомів інертних газів. ([3], стор. 249-253)
13. Спектри атомів лантанідів та актинідів. ([3], стор. 312-323)
14. Загальна характеристика рентгенівських спектрів поглинання та випромінювання. ([1], стор. 222-224)
15. Спектри надважких трансуранових елементів ([3], стор. 324-326)

3.2. Рекомендований перелік

додаткових теоретичних питань для самостійного вивчення

1. Спектри та електронна конфігурація атомів лужних металів в основному стані. ([3], стор. 132-146)
2. Закономірності в схемі енергетичних рівнів атомів лужних металів. ([3], стор. 150-153)
3. Спектральні серії атомів лужних металів. Дублетна структура енергетичних рівнів і спектральних ліній. ([3], стор. 132-146)
4. Атоми з s^2 - електронною конфігурацією в основному (нормальному) стані. ([3], стор. 52-64)
5. Спектр атома гелія та лужно-земельних елементів. Мультиплетність розщеплення енергетичних рівнів. ([3], стор. 132-146)
6. Класифікація атомів з р-оболонками, які заповнюються. Спектральні закономірності атомів з p^1 - і p^5 - конфігурацією основного стану. ([3], стор. 52-64)
7. Спектри атомів з p^2 і p^4 -конфігураціями. Електронні конфігурації атомів вуглецю, кремнію, германію, олова, свинцю. ([3], стор. 65-68)
8. Мультиплетність розщеплення спектральних ліній. ([5], стор. 238-244)

3.3. Вказівки з виконання курсової (дослідницької) роботи

Окремою складовою самостійної роботи з дисципліни «Атомна оптика та спектроскопія» 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. Рівняння Шредінгера для одноелектронної атомної системи. Власна функція і власне значення оператора Гамільтона для електрона в атомі водню та воднеподібній системі. ([3], стр.22-37)
2. Наближення Хартрі-Фока. ([5], стр.70-81)
3. Квантова електродинаміка атомів та спектроскопія. Релятивістське рівняння Дірака для електрона у кулонівському полі. ([4], стр.40-68)
4. Релятивістська (КЕД) багаточастинкова теорія збурень до визначення енергетичних рівнів, констант надтонкої структури для релятивістських атомних систем. ([2], стр.41-45)
5. Функція Гріна рівняння Дірака з несингулярним потенціалом та комплексною енергією. ([5], стр.53-58)
6. Фізична сутність спін-орбітальної взаємодії. Тонка структура енергетичних рівнів. ([1], стр.35-62)
7. Типи зв'язків електронів в складних атомах. Нормальний тип зв'язку (Рассела-Саундерса). Сутність $L-S$ та $j-j$ зв'язків. Проміжні типи зв'язку електронів в складних атомах. ([5], стр.46-49)
8. Надтонка структура атомних спектрів. Фізична природа надтонкої структури спектрів. ([1], стр.22-37)
9. Квантова електродинаміка та спектри атомів. ([4] стр.41-47)
10. Теорія радіаційних поправок. Лембівський зсув та поляризація вакууму. ([3], стр.33-39)
11. Електромагнітний форм-фактор електрона та магнітний момент. ([5], стр.58-65)

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"> • 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).
<p>Правила стосовно зарахування пропущених занять</p>	<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.
<p>Правила щодо порушення термінів</p>	<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 висловлювати свої думки, творче опрацювали всіх питань лекції та зразкове ведення опорного конспекту; «+1 бал» - за підготовку творчої роботи (завдання, презентації); • <i>штрафні бали:</i> «-1 бал» - за пропуск практичного заняття.

	<p>«-0,5 бали» - за невчасну здачу звіту практичної роботи (етапу курсової роботи);</p> <ul style="list-style-type: none"> • мінімальна оцінка виконання змістового модуля після зниження не може бути нижча 60% від максимально можливої.
Політика щодо академічної доброчесності	<ul style="list-style-type: none"> • оцінювання усних відповідей, практичних робіт, 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 «Атомна оптика та спектроскопія» 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 ОЗ – 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 в кінці 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 в кінці 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 обґрунтуванні 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
			Сума балів, за якої залікова контрольна робота вважається виконаною**	≥50
Min*	0		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 (%) $V = 0,75 \times OЗ + 0,25 \times ОКР$	За шкалою ЄКТС	За 2- бальною шкалою
90-100	A	«зараховано»
82-89,9	B	
74-81,9	C	
64-73,9	D	
60-63,9	E	
35-59,9	FX	«не зараховано»
01-34,9	F	

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-ЛІ

1. Типи випромінювання атомів. ([2], стр.119-125)
2. Поняття енергетичного рівня. ([1], стр.137-148)
3. Поняття заселеності енергетичного рівня. ([2], стр.127-135)
4. Правила Гунда. ([2], стр.78-97)
5. Сутність L-S та зв'язків. ([3], стр.21-36)
6. Тонка структура енергетичних рівнів. ([1], стр.117-125)
7. Фізична сутність спін-орбітальної взаємодії. ([5], стр.150-167)
8. Формула Больцмана. ([1], стр.68-71)
9. Мультиплетність. ([1], стр.78-81)
10. Золоте правило Фермі. ([1], стр.98-100)
11. Матричний елемент дипольного моменту квантового переходу. ([2], стр.67-77)
12. Класифікація станів електрону. ([4], стр.22-37)
13. Природна ширина спектральних ліній. ([1], стр.87-93)
14. Вплив спін-орбітальної взаємодії на структуру спектральних ліній. ([4], стр.58-63)
15. Функція Гріна рівняння Дірака з несингулярним потенціалом та комплексною енергією. ([3], стр.21-33)
16. Класифікація станів електрону. ([5], стр.37-45)
17. Тонка структура енергетичних рівнів. ([1], стр.57-67)
18. Поняття атомної орбіталі. ([2], стр.33-49)
19. Поняття електронної оболонки і електронного шару атома. ([1], стр.127-131)
20. Типи зв'язків електронів в складних атомах. ([2], стр.103-109)

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

1. Оператор Гамільтона для електрону в атомі водню. ([2], стр.78-97)
2. Електронна конфігурація складного атома в основному стані. ([3], стр.21-36)
3. Електронна конфігурація складного атома в збудженому стані. ([1], стр.117-125)
4. Статистична сума. ([1], стр.127-131)
5. Функція розподілу часток по енергетичним рівням. ([2], стр.103-109)
6. Загальна формула для заселеності збудженого стану. ([2], стр.119-125)
7. Спектральна густина коефіцієнтів Ейнштейна. ([1], стр.137-148)
8. Оператор електромагнітної взаємодії. ([2], стр.127-135)
9. Умови термодинамічної рівноваги. ([1], стр.150-167)
10. Рівняння Шредінгера для одноелектронної атомної системи. ([3], стр.21-33)
11. Рівняння Шредінгера для багатоелектронної атомної системи. ([1], стр.37-45)
12. Облік спін-орбітальної магнітної взаємодії. ([1], стр.57-67)
13. Облік спін-орбітальної міжелектронної взаємодії. ([2], стр.33-49)
14. Опис стану атома в водню. ([1], стр.68-71)
15. Релятивістське рівняння Дірака для електрона у кулонівському полі. ([1], стр.78-81)
16. Наближення Хартрі-Фока. ([2], стр.67-77)
17. Часткове зняття заборони по спіновому квантовому числу. ([4], стр.22-37)
18. Комплексна енергія резонансу. ([1], стр.87-93)
19. Надтонка структура атомних спектрів. ([4], стр.58-63)
20. Опис стану складного атома в одноелектронному наближенні. ([1], стр.98-105)

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

1. Атом у зовнішніх електричному полі. ([1], стр.101-108)
2. Поняття сильного і слабого полів. ([3], стр.41-55)
3. Вплив зовнішнього електричного поля на терми атома. ([3], стр.47-75)
4. Ефект Штарка (ДС ефект). ([2],стр.49-52)
5. Індукований електричний момент атома. ([2], стр.53-55)
6. Лінійний ефект Штарка. ([1], стр.88-93)
7. Квадратичний ефект Штарка. ([2], стр.45-48)
8. Динамічний АС ефект Штарка. ([3], стр.22-37)
9. Вплив зовнішнього магнітного поля на терми атомів. ([1], стр.55-65)
10. Теорія збурень для атому у постійному електричному полі. ([1], стр.71-75)
11. Ефект Зеємана. ([1], стр.81-87)
12. Квантово-механічний опис ефекта Зеємана. ([2],стр.49-52)
13. Магнітна структура спектральних ліній. ([2], стр.53-55)
14. Складний ефект Зеємана. ([1], стр.22-32)
15. Ефект Пашена-Бака. ([1], стр.34-37)
16. Прецесія магнітних моментів атома. ([2],стр.23-30)
17. Квантовий дефект, його фізичний зміст. ([2], стр.31-41)
18. Правила відбору по квантовим числам. ([1], стр.43-48)
19. Спектри атомів з p_2 і p_4 -конфігураціями. ([1], стр.49-55)
20. Спектри атомів лантанідів та актинідів. ([3], стр.22-37)

4.5.1. Тестові завдання до модульної контрольної роботи модуля ЗМ-П2

1. Чисельне інтегрування рівняння Шредінгера для атому в електричному полі. ([1], стр.81-87)
2. Обчислення енергій та ширин резонансів Штарка. ([2],стр.49-52)
3. Вплив зовнішнього магнітного поля на терми атомів. ([2], стр.53-55)
4. Теорія збурень для атому у постійному електричному полі. ([1], стр.88-93)
5. Операторна теорія збурень Глушкова-Іванова. ([1], стр.95-99)
6. Спектроскопія атомів у полі лазерного випромінювання. ([2], стр.56-59)
7. Теоретичні методи обчислення енергій резонансів для атома в магнітному полі. ([3], стр.22-37)
8. Теоретичні методи обчислення ширин резонансів для атома в магнітному полі. ([1], стр.101-108)
9. Правила відбору. ([3], стр.41-55)
10. Магнітна структура спектральних ліній. ([1], стр.22-32)
11. Узгодження класичного і квантово-механічного описів простого ефекту. ([1], стр.34-37)
12. Фактор Ланде. ([2],стр.23-30)
13. Магнітна структура спектральних ліній при складному ефекті Зеємана. ([2], стр.31-41)
14. Ефект Пашена-Бака. ([1], стр.43-48)
15. Прецесія магнітних моментів атома. ([1], стр.49-55)
16. Нерелятивістська теорії фотоефекту. ([2], стр.45-48)
17. Релятивістська теорії фотоефекту. ([3], стр.22-37)
18. Релятивістський енергетичний підхід в теорії кооперативних електрон- гамма-ядерних процесів. ([1], стр.55-65)
19. Релятивістський енергетичний підхід до опису процесів типу «ядерне збудження – електронні переходи». ([3], стр.41-55)
20. Приклади визначення ймовірностей кооперативних процесів. ([1], стр.71-75)

4.5.5. Тестові завдання до залікової роботи

1. Поняття заселеності енергетичного рівня. ([2], стр.119-125)
2. Правила Гунда. ([1], стр.137-148)
3. Сутність L-S та зв'язків. ([2], стр.127-135)
4. Тонка структура енергетичних рівнів. ([2], стр.78-97)
5. Фізична сутність спин-орбітальної взаємодії. ([3], стр.21-36)
6. Формула Больцмана. ([1], стр.117-125)
7. Мультиплетність. ([5], стр.150-167)
8. Золоте правило Фермі. ([1], стр.68-71)
9. Матричний елемент дипольного моменту квантового переходу. ([1], стр.78-81)
10. Класифікація станів електрону. ([1], стр.98-100)
11. Природна ширина спектральних ліній. ([2], стр.67-77)
12. Електронна конфігурація складного атома в збудженому стані. ([4], стр.22-37)
13. Статистична сума. ([1], стр.87-93)
14. Функція розподілу часток по енергетичним рівням. ([4], стр.58-63)
15. Загальна формула для заселеності збудженого стану. ([3], стр.21-33)
16. Спектральна густина коефіцієнтів Ейнштейна. ([5], стр.37-45)
17. Оператор електромагнітної взаємодії. ([1], стр.57-67)
18. Умови термодинамічної рівноваги. ([2], стр.33-49)
19. Рівняння Шредінгера для одноелектронної атомної системи. ([1], стр.127-131)
20. Рівняння Шредінгера для багатоелектронної атомної системи. ([2], стр.103-109)
21. Ефект Зеемана. ([1], стр.101-108)
22. Квантово-механічний опис ефекта Зеемана. ([3], стр.41-55)
23. Магнітна структура спектральних ліній. ([3], стр.47-75)
24. Складний ефект Зеемана. ([2], стр.49-52)
25. Ефект Пашена-Бака. ([2], стр.53-55)
26. Прецесія магнітних моментів атома. ([1], стр.88-93)
27. Квантовий дефект, його фізичний зміст. ([2], стр.45-48)
28. Правила відбору по квантовим числам. ([3], стр.22-37)
29. Спектри атомів з p² і p⁴-конфігураціями. ([1], стр.55-65)
30. Спектри атомів лантанідів та актинідів. ([1], стр.71-75)
31. Спектроскопія атомів у полі лазерного випромінювання. ([1], стр.81-87)
32. Теоретичні методи обчислення енергій резонансів для атома в магнітному полі. ([2], стр.49-52)
33. Теоретичні методи обчислення ширин резонансів для атома в магнітному полі. ([2], стр.53-55)
34. Магнітна структура спектральних ліній. ([1], стр.22-32)
35. Узгодження класичного і квантово-механічного описів простого ефекту. ([1], стр.34-37)
36. Магнітна структура спектральних ліній при складному ефекті Зеемана. ([2], стр.23-30)
37. Ефект Пашена-Бака. ([2], стр.31-41)
38. Прецесія магнітних моментів атома. ([1], стр.43-48)
39. Нерелятивістська теорія фотоефекту. ([1], стр.49-55)
40. Релятивістська теорія фотоефекту. ([3], стр.22-37)

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

16. 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.
17. 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>
18. 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>
19. 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>
20. 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.
21. 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
22. 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