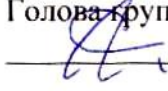



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Одеський державний екологічний університет

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

УЗГОДЖЕНО
Зав відділом аспірантури і докторантури
 Вітовська О. Т.

СИЛАБУС

навчальної дисципліни

«КВАНТОВА ГЕОМЕТРІЯ І СПЕКТРОСКОПІЯ ТА ДИНАМІКА РЕЗОНАНСІВ»

(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)

235/150

залік

(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;

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:

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

практичні заняття:

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

контактна інформація: телефон кафедри: (0482) 32-67-39, електронна адреса викладача:
odeku.intsci@gmail.com, glushkovav@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

<p>Мета навчальної дисципліни</p>	<p>Засвоєння (забезпечення) низки компетентностей, зокрема, досягнення відповідних знань, розумінь та здатності використання методів квантової геометрії і динаміки резонансів, здатності розвитку нових та удосконалення існуючих математичних методів аналізу, моделювання та прогнозування на основі фрактальної геометрії та елементів теорії хаоса регулярної і хаотичної динаміки (еволюції) складних систем, здатності розробляти принципово нові та удосконалювати існуючі сучасні обчислювальні методи та алгоритми квантової механіки, геометрії та електродинаміки для аналізу, моделювання та прогнозування властивостей класичних та квантових систем з вираженою резонансною поведінкою. оволодіння сучасним апаратом фрактальної геометрії та теорії хаосу.</p>
<p>Компетентності, які повинні бути набуті або розвинуті</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, а також геофізичних систем (атмосфери та океану).</p>
<p>Програмні результати навчання</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</p>

	геофізичних систем (атмосфери та океану), обробки результатів чисельних та натурних експериментів.
Базові знання	Основні поняття квантової механіки, геометрії та електродинаміки для аналізу, моделювання та прогнозування властивостей класичних та квантових систем з резонансною поведінкою. Сучасний апарат фрактальної геометрії та теорії хаосу, існуючі математичні методи аналізу, моделювання та прогнозування на основі фрактальної геометрії та елементів теорії хаоса регулярної і хаотичної динаміки (еволюції) складних систем.
Базові вміння	Використовувати сучасні існуючі або удосконалені, а також розробляти принципово нові методи та алгоритми квантової механіки, геометрії та електродинаміки для аналізу, моделювання та прогнозування властивостей класичних та квантових систем з резонансною поведінкою
Базові навички	Здатність розвитку нових та удосконалення існуючих математичних методів аналізу, моделювання та прогнозування на основі фрактальної геометрії та елементів теорії хаоса регулярної і хаотичної динаміки (еволюції) складних систем.
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	Самост. робота
ЗМ-Л1	Квантова геометрія. Квантування стаціонарних, квазістаціонарних станів для рівнянь Шредінгера, Дірака, Клейна-Гордона-Фока. Елементи теорії квантової теорії розсіювання. Резонансне розсіювання заряджених частинок.	15	15
Л1.1	Метричні, нормовані, Гільбертові простори. Повнота. Неперервні відображення. Компактні множини. Принципи стискаючих відображень, метод послідовних наближень та їх застосування. Лінійні, нормовані, бананові та Гільбертові простори. Елементи теорії операторів. Банахів і гільбертов простори.	2	2
Л1.2	Лінійні оператори. Обмежені і необмежені, симетричні, самоспряжені та інші оператори. Метод теорії збурень в задачах знаходження власних значень та власних векторів. Спектр оператора. Спряжені, самоспряжені, симетричні, додатково визначені, цілком неперервні оператори та їх спектральні властивості.	2	2
Л1.3	Знаходження власних значень (методи Рітца, Бубнова – Гальоркіна, найменших квадратів). Елементи квантової алгебри та геометрії. Основи теорії матриць Паулі, Дірака. Квантування стаціонарних, квазістаціонарних станів для рівнянь Шредінгера, Дірака, Клейна-Гордона-Фока.	2	2
Л1.4	Приклади розв'язування задач квантування станів рівняння Шредінгера для атому водню у кулонівському полі (у сферичних та параболічних координатах). Хвильові функції зв'язаних станів та станів континууму. Рівняння Шредінгера для квантового осцилятора, атома водню в електричному полі. Елементи квантової теорії розсіювання.	2	2
Л1.5	Аналітичні властивості, умови унітарності амплітуди розсіювання. Непружне та пружне розсіювання. Розклад по парціальним хвилям. Розв'язання рівняння Шредінгера методом функцій Гріна. Метод фазових функцій. Формула Борна. Квазікласична наближення. Розсіювання повільних та швидких частинок, при малих та великих енергіях.	2	2
Л1.6	Резонансне розсіювання при малих енергіях. Резонанс на квазідискретному рівні. Формула Резерфорда. Система хвильових функцій безперервного спектру для розсіювання в кулонівському та інших полях. Резонансне розсіювання заряджених частинок.	2	2
Л1.7	Розсіювання при спін-орбітальній взаємодії. Полюси Редже. Непружне розсіювання повільних частинок (при наявності реакцій). Матриця розсіювання. Формули Брейта та Вігнера. Взаємодія у скінченному стані при реакціях. Поведінка перерізу біля порогу реакції. Непружні зіткнення важких частинок з атомами. Розсіювання нейтронів.	3	3

Код	Назви змістовних модулів та перелік тем лекційних занять	Кількість годин	
		Ауди-торні	Самост. робота
ЗМ-Л2	Резонанси в процесах розсіювання. Теорія резонансів форми. Автоіонізаційні резонанси в спектрах квантових систем. Динаміка резонансів для квантових систем в електромагнітному полі. Методи обчислення енергій та ширин штарківських та зєсманівських (Ландау) резонансів	15	15
Л2.1	Резонанси в процесах розсіювання. Одноканальна теорія S-матриці. Теорія резонансів форми. Резонанси Фано. Резонанси закритого типу. Автоіонізаційні резонанси в спектрах квантових систем. Діагоналізаційний метод Балашова. Метод Фано. Метод асимптотичних фаз. Резонанси при пружному розсіюванні електронів на простих атомах (водень, гелій).	1	1
Л2.2	Борнівське наближення для амплітуди розсіювання електрона на атомі водню без та з урахуванням обміну. Розсіювання електронів на складних, багатоелектронних атомах. Урахування обмінно-кореляційних ефектів, міжконфігураційної взаємодії тощо. Релятивістський енергетичний S-матричний формалізм.	1	1
Л2.3	Релятивістська багаточастинкова теорія збурень. Калібровочно-інваріантний енергетичний формалізм Глушкова-Іванова-Іванової в задачах обчислення параметрів автоіонізаційних резонансів та резонансів розсіювання. Золоте правило Фермі. Техніка Глушкова-Іванова-Іванової обчислення амплітуд радіаційних, автоіонізаційних переходів.	1	1
Л2.4	Приклади обчислення енергій та ширин автоіонізаційних резонансів в спектрах простих та складних атомів. Теорія автоіонізаційних резонансів для атомів в рідбергівських станах. Узагальнення на випадок молекулярних (двоатомних) систем. Елементи теорії резонансної взаємодії рідбергівських атомів в криогенних умовах .	2	2
Л2.5	Теорія резонансів для квантових систем в електромагнітному полі. Теорія ефектів Штарка, Зєсмана для атомів (водень та інші) в електричному та магнітному полі. Резонанс форми. Комплексна енергія резонансу. . Золоте правило Фермі. Техніка Глушкова-Іванова-Іванової обчислення амплітуд радіаційних, автоіонізаційних переходів.	2	2
Л2.6	Класичні теорії (Бенкса-Леопольда), квазікласичне наближення. Метод асимптотичних фаз та комплексного перетворення координат. Метод прямого чисельного розв'язання рівняння Шредінгера. Метод теорії збурень та алгоритми сумування розбіжних рядів (Паде, Бореля). Феномен Дайсона. Метод апроксимант Паде, Паде-Ерміта, $1/n$ розкладання.	2	2
Л2.7	Теорія Вейля і метод Brändas-Froelich. Формалізм операторної теорії збурень Глушкова-Іванова. Оптимізація вибору базисів функцій нульового наближення та оцінка поправок другого та вищих порядків теорії збурень. Елементи теорії багатофотонних резонансів для скінченної квантової системи (атом, ядро, молекула) в змінному електромагнітному полі, полі лазерного випромінювання.	2	2
Л2.8	Метод квазіенергетичних станів Келдиша, формалізм матриць густини, метод функцій Гріна, метод стохастичних диференціальних рівнянь. Адіабатичний формалізм Гелл-Мана та Лоу і релятивістський енергетичний підхід Глушкова-Іванова-Іванової. Техніка моментів ліній багатофотонного радіаційного поглинання та випромінювання Глушкова-Іванова.	2	2

Код	Назви змістовних модулів та перелік тем лекційних занять	Кількість годин	
		Ауди-торні	Самост. робота
Л2.9	Теорія обчислення ймовірностей к-фотонного випромінювання або поглинання, зсуву та деформації спектральних ліній в полі лазерного випромінювання, енергій та ширин багатофотонних резонансів. Ефекти енергетики, якості, форми (лоренцева, гаусова, солітонна тощо) імпульсу, модового складу, фазових зсувів лазерного випромінювання. Багатофотонні резонанси в спектрах конкретних атомних систем.	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	Розв'язання задач квантової геометрії. Техніка визначення та обчислення амплітуд непружного та пружного розсіювання. Резонансне розсіювання заряджених частинок.	25	15
П1.1	Метод теорії збурень в задачах знаходження власних значень та власних векторів. Спектр оператора. Спряжені, самоспряжені, симетричні, додатково визначені, цілком неперервні оператори та їх спектральні властивості. знаходження власних значень (методи Рітца, Бубнова – Гальоркіна, найменших квадратів). Елементи квантової алгебри та геометрії.	5	3
П1.2	Алгебра матриць Паулі, Дірака. Квантування стаціонарних, квазістаціонарних станів для рівнянь Шредінгера, Дірака, Клейна-Гордона-Фока. Приклади розв'язування задач квантування станів рівняння Шредінгера для атому водню у кулонівському полі (у сферичних та параболічних координатах). Хвильові функції зв'язаних станів та станів континууму. Рівняння Шредінгера для квантового осцилятора, атома водню в електричному полі.	5	3
П1.3	Аналітичні властивості, умови унітарності амплітуди розсіювання. Непружне та пружне розсіювання. Розклад по парціальним хвилям. Розв'язання рівняння Шредінгера методом функцій Гріна. Метод фазових функцій. Формула Борна. Квазікласична наближення. Розсіювання повільних та швидких частинок, при малих та великих енергіях.	5	3
П1.4	Резонансне розсіювання при малих енергіях. Резонанс на квазідискретному рівні. Формула Резерфорда. Система хвильових функцій безперервного спектру для розсіювання в кулонівському та інших полях. Резонансне розсіювання заряджених частинок. Розсіювання при спин-орбітальній взаємодії. Полюси Редже.	5	3
П1.5	Непружне розсіювання повільних частинок (при наявності реакцій). Матриця розсіювання. Формули Брейта та Вігнера. Взаємодія у скінченному стані при реакціях. Поведінка перерізу біля порогу реакції. Непружні зіткнення важких частинок з атомами. Розсіювання нейтронів.	5	3

Код	Назви змістовних модулів та перелік тем лекційних занять	Кількість годин	
		Ауди-торні	Самост. робота
ЗМ-П2	Визначення та обчислення характеристик резонансів Фано, форми, Штарка, Зеємана, багатофотонних резонансів для атомів у зовнішньому електромагнітному полі.	20	10
П2.1	Одноканальна теорія S-матриці. Теорія резонансів форми. Резонанси Фано. Резонанси закритого типу. Автоіонізаційні резонанси в спектрах квантових систем. Діагоналізаційний метод Балашова. Метод Фано. Метод асимптотичних фаз. Резонанси при пружному розсіюванні електронів на простих атомах (водень, гелій). Борнівське наближення для амплітуди розсіювання електрона на атомі водню без та з урахуванням обміну. Розсіювання електронів на складних, багатоелектронних атомах. Урахування обмінно-кореляційних ефектів, міжконфігураційної взаємодії тощо. Релятивістський енергетичний S-матричний формалізм..	5	2
П2.2	Калібровочно-інваріантний енергетичний формалізм Глушкова-Іванова-Іванової в задачах обчислення параметрів автоіонізаційних резонансів та резонансів розсіювання. Золоте правило Фермі. Техніка Глушкова-Іванова-Іванової обчислення амплітуд радіаційних, автоіонізаційних переходів.. Теорія автоіонізаційних резонансів для атомів в рідбергівських станах. Елементи теорії резонансної взаємодії рідбергівських атомів в криогенних умовах. Теорія резонансів для квантових систем в електромагнітному полі.	5	2
П2.3	Комплексна енергія резонансу. Методи обчислення енергій та ширин штарківських та зеєманівських (Ландау) резонансів. Метод асимптотичних фаз та комплексного перетворення координат. Метод прямого чисельного розв'язання рівняння Шредінгера. Метод теорії збурень та алгоритми сумування розбіжних рядів (Паде, Бореля). Феномен Дайсона. Метод апроксимант Паде, Паде-Ерміта, $1/n$ розкладання.	5	3
П2.4	Теорія Вейля і метод Brändas-Froelich. Формалізм операторної теорії збурень Глушкова-Іванова. Метод квазіенергетичних станів Келдиша, формалізм матриць густини, метод функцій Гріна, метод стохастичних диференціальних рівнянь. Релятивістський енергетичний підхід Глушкова-Іванова-Іванової. Техніка моментів ліній багатофотонного радіаційного поглинання та випромінювання Глушкова-Іванова. Теорія обчислення ймовірностей к-фотонного випромінювання енергій та ширин багатофотонних резонансів.	5	3
ЗМ-Кур	Курсова робота	-	15
	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. РЕКОМЕНДАЦІ ДО САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ АСПІРАНТІВ

3.1. Загальні повчання

Самостійна робота є основним засобом засвоєння здобувачем вищої освіти навчального матеріалу дисципліни «Квантова геометрія і спектроскопія та динаміка резонансів» в поза аудиторний час, що регламентується навчальним планом.

Базова (обов'язкова) самостійна робота аспіранта включає:

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

- підготовку до усного опитування або тестування;

- підготовку до заліку (залікової контрольної роботи).

- виконання курсової роботи та підготовку до її захисту;

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

- самостійне вивчення з рекомендованого переліку додаткових теоретичних питань, нерозглянутих на лекціях;

- розв'язування додаткових задач за тематикою практичних занять;

- виконання творчих аналітично-розрахункових робіт;

- аналіз наукової публікації за визначеною викладачем темою;

- аналіз наукових матеріалів по заданій темі зі складанням схем та моделей на підставі отриманих результатів;

- поглиблений аналіз науково-методичної літератури (підготовка рецензій, анотацій на статтю або посібник, складання анотованого списку статей із відповідних журналів по галузі знань, складання глосарія по конкретній темі, аналітичний звіт з побудови наукової гіпотези за обраною аспірантом тематикою дослідження та ін.);

- пошук додаткових матеріалів, які можуть бути використані для написання курсової (дослідницької) роботи.

Самостійна робота над засвоєнням навчального матеріалу з дисципліни може виконуватися у бібліотеці, читальних залах бібліотеки Одеського державного екологічного університету, навчальних кабінетах, комп'ютерних класах, у домашніх умовах, у тому числі з використанням технологій дистанційного навчання та інтернет - ресурсів. Перелік навчально-методичних матеріалів разом з рекомендованою науковою та фаховою монографічною й періодичною літературою, необхідний для забезпечення самостійної роботи аспірантів, наведено у пункті 5. Здобувач освіти в ході самостійної роботи може:

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

Навчальний матеріал дисципліни, передбачений для засвоєння аспірантами у процесі самостійної роботи, виноситься на підсумковий контроль разом із навчальним матеріалом, який було опрацьовано під час проведення навчальних занять. Загальна кількість годин самостійної роботи, яка надається аспіранту для засвоєння навчального матеріалу дисципліни, становить 75 годин.

3.1.1 Модуль Л1, П1. Квантова геометрія

3.1.1.1 Повчання

Розглядають наступні питання: Метричні, нормовані, Гілбертові простори. Лінійні оператори. Обмежені і необмежені, симетричні, самоспряжені та інші оператори. Знаходження власних значень (методи Рітца, Бубнова – Гальоркіна, найменших квадратів). Елементи квантової алгебри та геометрії. Основи теорії матриць Паулі, Дірака. Квантування стаціонарних, квазістаціонарних станів для рівнянь Шредінгера, Дірака, Клейна-Гордона-Фока. Резонансне розсіювання при малих енергіях. Резонанс на квазідискретному рівні. Формула Резерфорда. Розсіювання при спин-орбітальній взаємодії. Полюси Редже.

Найважче навчально-методичне забезпечення:

1. Тихонов А.Н., Самарский А.В., Уравнения математической физики.-Москва: Наука, 1989.-690С.
2. Марчук В.И, Методы вычислительной математики.- Москва: Наука, 1989. – 768С.
3. Глушков А.В.Релятивистская квантовая теория. Квантовая механика атомных систем.-Одесса: Экология.-2008. –700С.
4. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М., Теоретическая физика. Т6. Гидродинамика.-М: Наука, 1989. – 590С.
5. Глушков А.В., Релятивистские и корреляционные эффекты в спектрах атомных систем.-Одесса: Экология.-2006. –450С.

3.1.1.2 Питання до самоперевірки

1. Метод теорії збурень в задачах знаходження власних значень та власних векторів. ([1], стр.107-117)
2. Спектр оператора. ([2], стр.53-59)
3. Спряжені, самоспряжені, симетричні, додатково визначені, цілком неперервні оператори та їх спектральні властивості. ([2], стр.59-65)
4. Золоте правило Фермі. ([1], стр.119-125)
5. Техніка Глушкова-Іванова-Іванової обчислення амплітуд радіаційних, автоіонізаційних переходів. ([3], стр.71-75)
6. Золоте правило Фермі. Техніка Глушкова-Іванова-Іванової обчислення амплітуд радіаційних, автоіонізаційних переходів. ([1], стр.13-17)
7. Рівняння Шредінгера для квантового осцилятора, атома водню в електричному полі. ([1], стр.128-135)
8. Метод фазових функцій. ([2], стр.67-77)
9. Формула Борна. ([1], стр.60-65)
10. Формули Брейта та Вігнера. ([3], стр.58-63)
11. Взаємодія у скінченному стані при реакціях. ([1], стр.91-105)

3.1.2 Модуль Л2, П2. Теорія резонансів

3.1.2.1 Повчання

Розглядають наступні питання: Резонанси в процесах розсіювання. Одноканальна теорія S-матриці. Теорія резонансів форми. Резонанси Фано. Релятивістська багаточастинкова теорія збурень. Калібровочно-інваріантний енергетичний формалізм Глушкова-Іванова-Іванової в задачах обчислення параметрів автоіонізаційних резонансів та резонансів розсіювання. Елементи теорії резонансної взаємодії рідбергівських атомів в криогенних умовах. Класичні теорії (Бенкса-Леопольда), квазікласичне наближення. Метод асимптотичних фаз та комплексного перетворення координат. Метод прямого чисельного розв'язання рівняння Шредінгера. Метод теорії збурень та алгоритми сумування розбіжних рядів

Найвне навчально-методичне забезпечення:

1. Тихонов А.Н., Самарский А.В., Уравнения математической физики.-Москва: Наука, 1989.-690С.
2. Марчук В.И, Методы вычислительной математики.- Москва: Наука, 1989. – 768С.
3. Глушков А.В.Релятивистская квантовая теория. Квантовая механика атомных систем.-Одесса: Экология.-2008. –700С.
4. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М., Теоретическая физика. Т6. Гидродинамика.-М: Наука, 1989. – 590С.
5. Глушков А.В., Релятивистские и корреляционные эффекты в спектрах атомных систем.-Одесса: Экология.-2006. –450С.

3.1.2.2 Питання до самоперевірки

1. Автоіонізаційні резонанси в спектрах квантових систем. ([1], стр.22-28)
2. Діагоналізаційний метод Балашова. ([2], стр.46-49)
3. Метод Фано. Метод асимптотичних фаз. ([3], стр.22-37)
4. Метод теорії збурень та алгоритми сумування розбіжних рядів (Паде, Бореля). ([2], стр.66-69)
5. Метод квазіенергетичних станів Келдиша. ([5], стр.70-81)
6. Формалізм матриць густини. ([4], стр.58-65)
7. Метод функцій Гріна. ([1], стр.83-87)
8. Метод стохастичних диференціальних рівнянь. ([2], стр.41-45)
9. Релятивістський енергетичний підхід Глушкова-Іванова-Іванової. ([1], стр.53-58)
10. Багатофотонні резонанси в спектрах конкретних атомних систем. ([5], стр.50-61)
11. Метод асимптотичних фаз та комплексного перетворення координат. ([1], стр.43-47)
12. Метод прямого чисельного розв'язання рівняння Шредінгера. ([2], стр.76-89)
13. Метод теорії збурень та алгоритми сумування розбіжних рядів (Паде, Бореля). ([3], стр.42-47)

3.2. Рекомендований перелік

додаткових теоретичних питань для самостійного вивчення

1. Розв'язання рівняння Шредінгера методом функцій Гріна. ([2], стр.41-45)
2. Метод фазових функцій. Формула Борна. ([1], стр.53-58)
3. Квазікласична наближення. Розсіювання повільних та швидких частинок, при малих та великих енергіях. ([5], стр.50-61)
4. Резонансне розсіювання при малих енергіях. Резонанс на квазідискретному рівні. Формула Резерфорда. ([1], стр.22-28)
5. Система хвильових функцій безперервного спектру для розсіювання в кулонівському та інших полях. ([2], стр.46-49)
6. Резонансне розсіювання заряджених частинок. Розсіювання при спіні-орбітальній взаємодії. Полюси Редже. ([3], стр.22-37)
7. Матриця розсіювання. Формули Брейта та Вігнера. Взаємодія у скінченному стані при реакціях. Поведінка перерізу біля порогу реакції. ([2], стр.66-69)
8. Непружні зіткнення важких частинок з атомами. ([1], стр.83-87)

3.3. Вказівки з виконанням курсової (дослідницької) роботи

Окремою складовою самостійної роботи з дисципліни є виконання курсової (дослідницької) роботи та підготовка до її захисту.

Курсова робота - один із видів індивідуальних завдань навчально-дослідницького та творчого характеру, який має на меті не лише поглиблення, узагальнення і закріплення знань аспірантів з навчальної дисципліни, а й застосування їх при проведенні власного наукового дослідження і вироблення вміння самостійно працювати з навчальною і науковою літературою, електронно-обчислювальною технікою та іншим обладнанням, використовуючи сучасні інформаційні засоби та технології.

Вибір теми курсової роботи (проекту) здобувач освіти здійснює на початку вивчення дисципліни протягом перших трьох тижнів семестру.

Аспіранту надається право вільного вибору теми роботи із запропонованого переліку. також він може запропонувати власну тему курсової роботи за умови письмового погодження із науковим керівником, обґрунтувавши своє рішення належним чином і враховуючи, що запропонована тема повинна бути актуальною і відповідати професійному спрямуванню дисципліни.

Курсова робота є окремою заліковою одиницею навчальної дисципліни і оцінюється як самостійний вид навчальної діяльності аспіранта.

Виконання курсової роботи передбачає розробку розрахунково-пояснювальної записки, графічного, ілюстративного матеріалу, та є творчим рішенням конкретної задачі щодо застосування чисельних методів алгебри у розв'язанні задач динаміки квантових систем, виконаним аспірантом самостійно згідно із завданням під керівництвом викладача, на основі набутих з даної та суміжних дисциплін знань та умінь.

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

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

3.3.1. Перелік тем курсових (дослідницьких) робіт

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

1. Теорія резонансів для квантових систем в електромагнітному полі. Комплексна енергія резонансу	([5], стр.58-65)
2. Методи обчислення енергій та ширин штарківських та зєсманівських (Ландау) резонансів	([2], стр.46-49)
3. Метод асимптотичних фаз та комплексного перетворення координат. Метод прямого чисельного розв'язання рівняння Шредінгера.	([5], стр.40-48)
4. Метод теорії збурень та алгоритми сумування розбіжних рядів (Паде, Бореля). Феномен Дайсона.	([1], стр.22-37)
5. Метод апроксимант Паде, Паде-Ерміта, $1/n$ розкладання.	([4] стр.41-47)
6. Теорія Вейля і метод Brändas-Froelich.	([3], стр.33-39)
7. Формалізм операторної теорії збурень Глушкова-Іванова.	([5], стр.70-81)
8. Метод квазіенергетичних станів Келдиша, [([4], стр.58-65)
9. Метод функцій Гріна,	([1], стр.83-87)
10. Метод стохастичних диференціальних рівнянь.	([1], стр.122-137)
11. Техніка моментів ліній багатофотонного радіаційного поглинання та випромінювання Глушкова-Іванова	([4], стр.12-30)

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. «-0,5 бали» - за невчасну здачу

	звіту практичної роботи (етапу курсової роботи); <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 «Квантова геометрія і спектроскопія та динаміка резонансів» 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 бали. 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:

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

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

OKP – 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; уміння використовувати для обґрунтування своїх рішень останні досягнення науки і техніки; оволодіння методичними навичками.

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

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

4.3.5. Оцінка залікової контрольної роботи (ОКР)

Кількість балів за правильне виконання одного тестового завдання		Кількість тестових завдань	Сума балів	
Max	5		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
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-Л1(див. [1-5]).

1. Метричні, нормовані, Гілбертові простори. ([1], стр.68-71)
2. Неперервні відображення. ([1], стр.78-81)
3. Компактні множини. ([1], стр.98-100)
4. Принципи стискаючих відображень, метод послідовних наближень та їх застосування. ([2], стр.67-77)
5. Лінійні, нормовані, бананові та Гілбертові простори. ([4], стр.22-37)
6. Банахів і гільбертов простори. ([1], стр.87-93)
7. Лінійні оператори. Обмежені і необмежені, симетричні, самоспряжені та інші оператори. ([4], стр.58-63)
8. Метод теорії збурень в задачах знаходження власних значень та власних векторів. ([3], стр.21-33)
9. Спектр оператора. Спряжені, самоспряжені, симетричні, додатково визначені, цілком неперервні оператори та їх спектральні властивості. ([5], стр.37-45)
10. Основи теорії матриць Паулі, Дірака. ([1], стр.57-67)
11. Квантування стаціонарних, квазістаціонарних станів для рівнянь Шредінгера, Дірака, Клейна-Гордона-Фока. ([2], стр.33-49)
12. Хвильові функції зв'язаних станів та станів континууму. ([1], стр.127-131)
13. Рівняння Шредінгера для квантового осцилятора, атома водню в електричному полі. ([2], стр.133-139)
14. Аналітичні властивості, умови унітарності амплітуди розсіювання ([2], стр.119-125)
15. Непружне та пружне розсіювання. ([1], стр.137-148)
16. Розв'язання рівняння Шредінгера методом функцій Гріна. ([2], стр.127-135)
17. Метод фазових функцій. ([2], стр.78-97)
18. Формула Борна. ([3], стр.21-36)
19. Розсіювання повільних та швидких частинок, при малих та великих енергіях. ([1], стр.117-125)
20. Резонанс на квазідискретному рівні. ([5], стр.150-167)

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

1. Резонанси в процесах розсіювання ([3], стр.21-33)
2. Одноканальна теорія S-матриці ([1], стр.37-45)
3. Теорія резонансів форми ([1], стр.57-67)
4. Резонанси Фано. ([2], стр.33-49)
5. Резонанси закритого типу. ([1], стр.68-71)
6. Автоіонізаційні резонанси в спектрах квантових систем. ([1], стр.78-81)
7. Діагоналізаційний метод Балашова. ([2], стр.67-77)
8. Метод Фано. ([4], стр.22-37)
9. Метод асимптотичних фаз. ([1], стр.87-93)
10. Борнівське наближення для амплітуди розсіювання електрона на атомі водню без та з урахуванням обміну. ([4], стр.58-63)
11. Розсіювання електронів на складних, багатоелектронних атомах. ([1], стр.98-105)
12. Релятивістський енергетичний S-матричний формалізм. ([2], стр.78-97)
13. Релятивістська багаточастинкова теорія збурень. ([3], стр.21-36)
14. Калібровочно-інваріантний енергетичний формалізм Глушкова-Іванова-Іванової в задачах обчислення параметрів автоіонізаційних резонансів та резонансів розсіювання. ([1], стр.117-125)
15. Золоте правило Фермі. ([1], стр.127-131)

16. Техніка Глушкова-Іванова-Іванової обчислення амплітуд радіаційних , ([2], стр.103-109)
автоіонізаційних переходів.
17. Теорія ефектів Штарка, Зеємана для атомів (водень та інші) в ([2], стр.119-125)
електричному та магнітному полі.
18. Резонанс форми. Комплексна енергія резонансу ([1], стр.137-148)
19. Методи обчислення енергій та ширин штарківських та зеєманівських ([2], стр.127-135)
(Ландау) резонансів.
- 20.Метод асимптотичних фаз та комплексного перетворення координат ([1], стр.150-167)
- ..

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

1.
Метод теорії збурень в задачах знаходження власних значень та власних ([1], стр.55-65)
векторів. та їх спектральні властивості. знаходження власних значень (методи Рітца, Бубнова – Гальоркіна, найменших квадратів).
2. Спектр оператора. Спряжені, самоспряжені, симетричні, додатково ([1], стр.71-75)
визначені, цілком неперервні оператори
3. Алгебра матриць Паулі, Дірака. ([1], стр.81-87)
4. Квантування стаціонарних, квазістаціонарних станів для рівнянь ([2],стр.49-52)
Шредінгера, Дірака, Клейна-Гордона-Фока.
5. Хвильові функції зв'язаних станів та станів континууму. ([2], стр.53-55)
6. Рівняння Шредінгера для квантового осцилятора, атома водню в ([1], стр.22-32)
електричному полі.
7. Аналітичні властивості, умови унітарності амплітуди розсіювання. ([1], стр.34-37)
8. Непружне та пружне розсіювання. ([2],стр.23-30)
9. Розв'язання рівняння Шредінгера методом функцій Гріна. ([2], стр.31-41)
10. Метод фазових функцій. Формула Борна. ([1], стр.43-48)
11. Розсіювання повільних та швидких частинок, при малих та великих ([1], стр.49-55)
енергіях.
12. Резонансне розсіювання при малих енергіях. ([3], стр.22-37)
13. Резонанс на квазідискретному рівні. ([1], стр.101-108)
14. Формула Резерфорда. ([3], стр.41-55)
15. Система хвильових функцій безперервного спектру для розсіювання в ([3], стр.47-75)
кулонівському та інших полях.
16. Резонансне розсіювання заряджених частинок. ([2],стр.49-52)
17. Розсіювання при спін-орбітальній взаємодії. ([2], стр.53-55)
18. Непружне розсіювання повільних частинок (при наявності реакцій). ([1], стр.88-93)
19. Матриця розсіювання. ([2], стр.45-48)
- 20.Непружні зіткнення важких частинок з атомами. Розсіювання нейтро ([3], стр.22-37)
нів.

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

1. Урахування обмінно-кореляційних ефектів, міжконфігураційної ([1], стр.22-32)
взаємодії.
2. Резонанси закритого типа. ([1], стр.34-37)
3. Автоіонізаційні резонанси в спектрах квантових систем ([2],стр.23-30)
4. Діагоналізаційний метод Балашова. ([2], стр.31-41)
5. Метод Фано. ([1], стр.43-48)
6. Метод асимптотичних фаз. ([1], стр.49-55)
7. Борнівське наближення для амплітуди розсіювання електрона на атомі ([2], стр.45-48)
водно без та з урахуванням обміну.

8. Розсіювання електронів на складних, багатоелектронних атомах. ([3], стр.22-37)
9. Релятивістський енергетичний S-матричний формалізм. ([1], стр.55-65)
10. Техніка Глушкова-Іванова-Іванової обчислення амплітуд радіаційних , ([3], стр.41-55)
автоіонізаційних переходів
11. Теорія резонансів для квантових систем в електромагнітному полі.. ([1], стр.71-75)
12. Комплексна енергія резонансу. ([1], стр.81-87)
13. Методи обчислення енергій та ширин штарківських та зєсманівських ([2],стр.49-52)
(Ландау) резонансів.
14. Метод асимптотичних фаз та комплексного перетворення координат. ([2], стр.53-55)
15. Метод теорії збурень та алгоритми сумування розбіжних рядів (Паде, ([1], стр.88-93)
Бореля). Феномен Дайсона.
16. Метод квазіенергетичних станів Келдиша, метод стохастичних ([1], стр.95-99)
диференціальних рівнянь.
17. Техніка моментів ліній багатофотонного радіаційного поглинання та ([2], стр.56-59)
випромінювання Глушкова-Іванова.
18. Теорія обчислення ймовірностей к-фотонного випромінювання енергій ([3], стр.22-37)
та ширин багатофотонних резонансів
19. Метод прямого чисельного розв'язання рівняння Шредінгера. ([1], стр.101-108)
20. Метод апроксимант Паде, Паде-Ерміта, $1/n$ розкладання. ([3], стр.41-55)

4.5.5. Тестові завдання до залікової роботи (див. [1-5]).

- 1.Метричні , нормовані , Гілбертові простори. ([1], стр.68-71)
2. Неперервні відображення. ([1], стр.78-81)
3. Компактні множини. ([1], стр.98-100)
4. Принципи стискаючих відображень, метод послідовних наближень та їх ([2], стр.67-77)
застосування.
5. Лінійні, нормовані, бананові та Гілбертові простори. ([4], стр.22-37)
6. Банахів і гільбертов простори. ([1], стр.87-93)
7. Лінійні оператори. Обмежені і необмежені, симетричні, самоспряжені та ([4], стр.58-63)
інші оператори.
8. Метод теорії збурень в задачах знаходження власних значень та власних ([3], стр.21-33)
векторів.
9. Спектр оператора. Спряжені, самоспряжені, симетричні, додатково ([5], стр.37-45)
визначені, цілком неперервні оператори та їх спектральні властивості.
10. Основи теорії матриць Паулі, Дірака. ([1], стр.57-67)
11. Квантування стаціонарних, квазістаціонарних станів для рівнянь ([2], стр.33-49)
Шредінгера, Дірака, Клейна-Гордона-Фока.
12. Хвильові функції зв'язаних станів та станів континууму. ([1], стр.127-131)
13. Рівняння Шредінгера для квантового осцилятора, атома водню в ([2], стр.133-139)
електричному полі.
14. Аналітичні властивості, умови унітарності амплітуди розсіювання ([2], стр.119-125)
15. Непружне та пружне розсіювання. ([1], стр.137-148)
16. Розв'язання рівняння Шредінгера методом функцій Гріна. ([2], стр.127-135)
17. Метод фазових функцій. ([2], стр.78-97)
18. Формула Борна. ([3], стр.21-36)
19. Розсіювання повільних та швидких частинок, при малих та великих ([1], стр.117-125)
енергіях.
20. Резонанс на квазідискретному рівні. ([5], стр.150-167)
21. Резонанси в процесах розсіювання ([3], стр.21-33)
22. Одноканальна теорія S-матриці ([1], стр.37-45)
23. Теорія резонансів форми ([1], стр.57-67)
24. Резонанси Фано. ([2], стр.33-49)

25. Резонанси закритого типу. ([1], стр.68-71)
26. Автоіонізаційні резонанси в спектрах квантових систем. ([1], стр.78-81)
27. Діагоналізаційний метод Балашова. ([2], стр.67-77)
28. Метод Фано. ([4], стр.22-37)
29. Метод асимптотичних фаз. ([1], стр.87-93)
30. Борнівське наближення для амплітуди розсіювання електрона на атомі водно без та з урахуванням обміну. ([4], стр.58-63)
31. Розсіювання електронів на складних, багатоелектронних атомах. ([1], стр.98-105)
32. Релятивістський енергетичний S-матричний формалізм. ([2], стр.78-97)
33. Релятивістська багаточастинкова теорія збурень. ([3], стр.21-36)
34. Калібровочно-інваріантний енергетичний формалізм Глушкова-Іванова-Іванової в задачах обчислення параметрів автоіонізаційних резонансів та резонансів розсіювання. ([1], стр.117-125)
35. Золоте правило Фермі. ([1], стр.127-131)
36. Техніка Глушкова-Іванова-Іванової обчислення амплітуд радіаційних , автоіонізаційних переходів. ([2], стр.103-109)
37. Теорія ефектів Штарка, Зеємана для атомів (водень та інші) в електричному та магнітному полі. ([2], стр.119-125)
38. Резонанс форми. Комплексна енергія резонансу ([1], стр.137-148)
39. Методи обчислення енергій та ширин штарківських та зеєманівських (Ландау) резонансів. ([2], стр.127-135)
40. Метод асимптотичних фаз та комплексного перетворення координат ([1], стр.150-167)

5. ЛІТЕРАТУРА ДЛЯ ВИВЧЕННЯ ДИСЦИПЛІНИ

Основна література

1. Glushkov A.V., Relativistic Quantum Theory. Quantum, mechanics of Atomic Systems. Odessa: Astroprint, 2008.
2. Glushkov A.V. Atom in electromagnetic field. KNT: Kiev, 2005
3. Khetselius, O. Yu. Hyperfine structure of atomic spectra; Astroprint: Odessa, **2008**.
4. Khetselius, O.Yu. Quantum structure of electroweak interaction in heavy finite Fermi-systems. Astroprint: Odessa, **2011**.
5. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М., Теоретическая физика. Т6. Гидродинамика.-М: Наука, 1989. – 590С.

Додаткова література

1. Glushkov A.V., Khetselius O.Yu., Svinarenko A.A., Buyadzhi V.V., Methods of computational mathematics and mathematical physics, P.1. Lecture's Notes Odessa: TEC, 2015.-180P.
2. Glushkov A.V., Khetselius O.Yu., Svinarenko A.A., Methods of computational mathematics and mathematical physics, P.2. Lecture's Notes- Odessa: OSENU, 2015.-140P.
3. Glushkov, A.V. Relativistic and correlation effects in spectra of atomic systems; Odessa: Astroprint: 2006.
4. 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)
5. 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>
6. [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)
7. 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>
8. 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.
9. Khetselius, O. Relativistic calculation of the hyperfine structure parameters for heavy elements and laser detection of the heavy isotopes. Phys. Scripta 2009, 135, 014023.
10. 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.
11. 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.
12. Glushkov A.V., Khetselius O.Yu., Svinarenko A.A., Buyadzhi V.V., Methods of computational mathematics and mathematical physics. P.1. TES: Odessa, 2015.
13. 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;
14. 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.

15. 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.
16. 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>
17. 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>
18. 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>
19. 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.
20. 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
21. 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