

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Одеський державний екологічний університет

ЗАТВЕРДЖЕНО

на засіданні групи забезпечення спеціальності

від « 31 » _____ 08 _____ 20 20 року

протокол № 1

Голова групи д.ф.-м.н., проф. Хецеліус О.Ю.

СИЛАБУС

навчальної дисципліни

Квантова геометрія і динаміка резонансів

(назва навчальної дисципліни)

113 – Прикладна математика

(шифр та назва спеціальності)

Прикладна математика класичних та квантових систем

(назва освітньої програми)

Третій

(рівень вищої освіти)

Денна

(форма навчання)

другий

3

5/150

Залік

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

кафедри вищої та прикладної математики

(кафедра)

Одеса, 2020 р.

Автори:

завідувач кафедри вищої та прикладної математики, д.ф.-м.н., проф.

Глушков О.В.,

професор кафедри вищої та прикладної математики, д.ф.-м.н., проф.

Хецеліус О.Ю.,

доцент кафедри вищої та прикладної математики, к.ф.-м.н., доц.

Ігнатенко Г.В.

Поточна редакція розглянута на засіданні кафедри вищої та прикладної математики від « 31 » 08 20 20 року, протокол № 1 .

Перелік попередніх редакцій

Прізвища та ініціали авторів	Дата, № протоколу	Дата набуття чинності
Глушков О.В., Хецеліус О.Ю., Свинаренко А.А., Ігнатенко Г.В.	30.08.2019 р., № 1	02.09.2019 р.
Глушков О.В., Хецеліус О.Ю., Свинаренко А.А., Вітавецька Л.А.	31.08.2017 р., № 1	01.09.2017 р.

ЗМІСТ

1. Глосарій	4
2. Опис навчальної дисципліни	5
3. Мета та завдання навчальної дисципліни	6
4. Схема навчальної дисципліни	7
5. Програма лекційних блоків	8
6. Програма практичних блоків	20
7. Програма блока наукової роботи	28
8. Організація самостійної роботи аспірантів	29
9. Індивідуальні завдання, курсові роботи	30
10. Організація поточного, семестрового та підсумкового контролю знань аспірантів	32
11. Література.....	35

1. ГЛОСАРІЙ

- І** – іспит
- З** – залік
- ІЗ** – індивідуальне завдання
- КР** – контрольна робота
- КуР** – курсова робота
- ЛЗ** – лекційне заняття
- УО** – усне опитування
- ВЗ** – перевірка виконання індивідуального завдання
- ОЗЕ** – кількісна оцінка (у відсотках від максимально можливої) ходів контролю СРС під час проведення аудиторних занять
- ВІЗ** – виконання індивідуального завдання
- ВКуР** – виконання курсової роботи
- ВЛБ** – вивчення певних тем лекційного блоку
- ПІЗ** – перевірка індивідуального завдання
- ПКР** – перевірка контрольної роботи
- ПКуР** – перевірка курсової роботи
- ПЛЗ** – підготовка до лекційних занять
- ПМКР** – підготовка до контрольної роботи
- ПУОП** – підготовка до усного опитування під час практичних занять
- ПО** – підсумкова оцінка

2. ОПИС НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Таблиця 1

Найменування показників	Галузь знань, освітньо-кваліфікаційний рівень	Характеристики навчальної дисципліни	
		денна форма навчання	заочна форма навчання
Кількість кредитів ECTS 5	Галузь знань: 11. Математика та статистика	Нормативна	
	Рівень освіти: Третій		
Змістовних блоків: лекційних: 7 практичних: 4 3	Спеціальність: 113 – Прикладна математика	Рік підготовки	
		2	2
	Семестр		
	3	3	
Індивідуальні завдання: денна форма - індивідуальне завдання - 1 курсова робота - 1 заочна форма - індивідуальне завдання - 1 курсова робота - 1	Освітньо-кваліфікаційний рівень: Доктор філософії	Лекційні заняття	
		45	10
		Практичні заняття	
		30	10
		Самостійна робота	
		75	130
		Індивідуальні завдання	
Загальна кількість годин: денна -150; заочна - 150		Форма підсумкового Контролю	
		3	3
Співвідношення годин (%):	аудиторні заняття самостійна індивідуальна робота	денна 50.0	заочна 13.0
		50.0	87.0

3. МЕТА ТА ЗАВДАННЯ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Дисципліна «Квантова геометрія і динаміка резонансів» є вибірковою дисципліною у циклі професійної підготовки аспірантів (третій рівень освіти) за спеціальністю 113- Прикладна математика.

Вона спрямована на засвоєння (забезпечення) низки запланованих компетентностей, у т.ч., 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.

Місце дисципліни у структурно-логічній схемі її викладання: отримані знання при вивченні даної дисципліни використовуються при написанні дисертаційних робіт, тематика яких пов'язана із розв'язанням квантової механіки, геометрії та електродинаміки для аналізу, моделювання та прогнозування властивостей квантових систем з резонансною поведінкою. Основні поняття дисципліни – це бажаний інструментарій досвідченого фахівця у галузі прикладної математики.

Метою вивчення дисципліни є засвоєння (забезпечення) низки компетентностей, зокрема, оволодіння сучасним апаратом квантової геометрії, механіки та електродинаміки хаосу, здатність розвитку нових та удосконалення існуючих математичних методів аналізу, моделювання та прогнозування енергетичних та спектральних властивостей квантових систем з резонансною поведінкою.

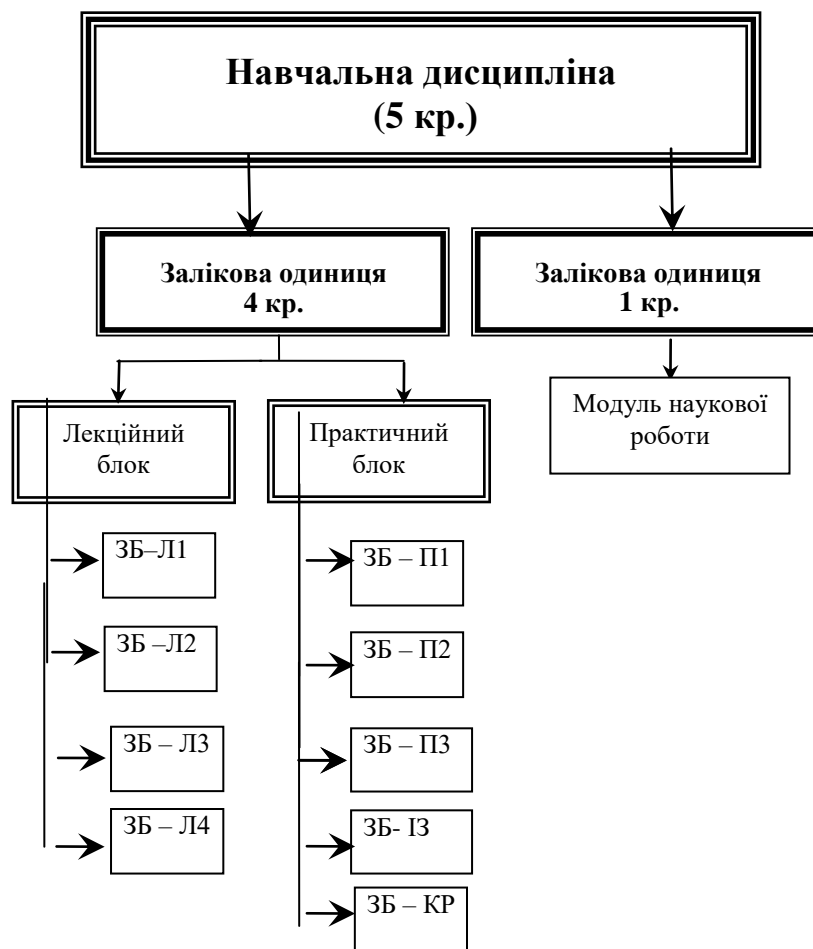
Загальний обсяг навчального часу, що припадає на вивчення дисципліни, становить **150** год. для денної форми навчання та **150** год. для заочної форми навчання.

Після засвоєння цієї дисципліни аспірант повинен уміти використовувати сучасні існуючі або удосконалені, а також розробляти принципово нові обчислювальні методи та алгоритми квантової механіки, геометрії та електродинаміки для аналізу, моделювання та прогнозування властивостей класичних та квантових систем з резонансною поведінкою.

Вивчення дисципліни «Квантова геометрія і динаміка резонансів» проводиться на другому році навчання (3 семестр; денна і заочна форми навчання) і передбачає лекційні та практичні заняття. Види контролю поточних знань – контрольні та курсова роботи, опитування, залік.

4. СХЕМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

(Дисципліна містить навчальний курс загальним обсягом 300 годин, індивідуальне завдання міститься у практичному модулі)



5. ПРОГРАМА ЛЕКЦІЙНИХ БЛОКІВ

Таблиця 2

Змістовні модулі	Назва змістовного блока	Назва теми	Денна форма				Заочна форма			
			Кількість ауд. годин годин	Кількість годин СРС	Завдання на СРС	Форми поточного контр. СРС	Кількість аудиторних годин	Кількість годин СРС	Завдання на СРС	Форми поточного контр. СРС
ЗБ- Л1	Квантова геометрія. Квантування стаціонарних, квазістаціонарних станів для рівнянь Шредінгера, Дірака, Клейна-Гордона-Фока	Метричні, нормовані, Гілбертові простори. Повнота. Неперервні відображення. Компактні множини. Принципи стискаючих відображень, метод послідовних наближень та їх застосування. Лінійні, нормовані, банахові та Гілбертові простори. Елементи теорії операторів. Банахів і гільбертов простори. Лінійні оператори. Обмежені і необмежені, симетричні, самоспряжені та інші оператори. Метод теорії збурень в задачах знаходження власних значень та власних векторів. Спектр оператора.	5	4	ПЛЗ		2	12	ПЛЗ	
		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. Основи теорії матриць Паулі,	5	4	ПЛЗ	ПУОП УО	УО			ПЛЗ

		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.								
ЗБ- Л2	Елементи теорії квантової теорії розсіювання. Резонансне розсіювання заряджених частинок. Методи обчислення.	Елементи квантової теорії розсіювання. 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	4	ПЛЗ		2	12	ПЛЗ	УО
		Резонансне розсіювання при малих	5	4	ПУОП				ПУОП	УО

		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 спінорбітальній 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.			ПЛЗ				ВЛБ	УО
ЗБ- ЛЗ	Резонанси в процесах розсіювання. Теорія резонансів форми.	Резонанси в процесах розсіювання. Одноканальна теорія S-матриці. Теорія резонансів форми. Резонанси Фано. Резонанси закритого типу.	8	4	ПЛЗ		3	12	ВЛБ	УО
	Автоінізаційні резонанси в спектрах квантових систем. Методи обчислення характеристик резонансів	Автоінізаційні 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	5	4	ПУОП	УО	1		ВЛБ	УО

		<p>атомі водно без та з урахуванням обміну. Розсіювання електронів на складних, багатоелектронних атомах. Урахування обмінно-кореляційних ефектів, міжконфігураційної взаємодії тощо. Релятивістський енергетичний S-матричний формалізм. 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. 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.</p>			ПЛЗ	УО				
--	--	---	--	--	-----	----	--	--	--	--

ЗБ- Л4	Динаміка резонансів для квантових систем в електромагнітному полі. Методи обчислення енергій та ширин штарківських та зееманівських (Ландау) резонансів	Теорія резонансів для квантових систем в електромагнітному полі. Теорія ефектів Штарка, Зеємана для атомів (водень та інші) в електричному та магнітному полі. Резонанс форми. Комплексна енергія резонансу. Методи обчислення енергій та ширин штарківських та зееманівських (Ландау) резонансів. 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. Теорія Вейля і метод Brändas-Froelich. Формалізм операторної теорія 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,	5	5	ПЛЗ		3	14	ВЛМ	УО
			7	6	ПМКР (ПО)	УО			ПМКР (ПО)	КР (ПКР)

		<p>полі лазерного випромінювання. 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. 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 (водень, лужні атоми, атоми лантанідів та актинідів тощо.)</p>								
	Підготовка до заліку			10				10		
		Всього	45	45			10	60		

Після вивчення лекційних змістовних блоків студенти мають оволодіти наступними знаннями.

ЗБ-Л1. Лінійні, нормовані, банахові та Гільбертові простори. Елементи теорії операторів. Банахові і гільбертові простори. 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. 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. 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.

Наявне 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. Никифоров А.Ф., Уваров В.Б. Специальные функции математической физики. –М.: Наука.1978.
4. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М., Теоретическая физика. Т1. Механика.-М: Наука, 1987. – 254С.
5. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М., Теоретическая физика. Т2. Теория поля.- М: Наука, 1988. – 512С.
6. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М., Теоретическая физика. Т6. Гидродинамика.-М: Наука, 1989. – 590С.
7. Ши Д., Численные методы в задачах теплообмена.- М: Мир, 1988. – 550С.
8. 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.
9. 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.
10. Глушков А.В., Новые методы математического моделирования в задачах конструктивной географии, гидрометеорологии и экологии.- Одесса: TEC.-2014.-405С.

11. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М., Теоретическая физика. Т3. Квантовая механика. Нерелятивистская теория.-М: Наука, 1989. – 768С.
12. Берестецкий В.Б., Лифшиц Е.М., Питаевский Л.П., Теоретическая физика. Т4. Квантовая электродинамика.-М: Наука, 1989. – 728С.
13. Глушков А.В. Релятивистская квантовая теория. Квантовая механика атомных систем.-Одесса: Экология.-2008. –700С.
14. Глушков А.В., Релятивистские и корреляционные эффекты в спектрах атомных систем.-Одесса: Экология.-2006. –450С.
15. Хецелиус О.Ю., Сверхтонкая структура атомных спектров.-Одесса: Астропринт, 2008.-210С.
16. Хецелиус О.Ю., Квантовая структура электрослабого взаимодействия в тяжелых конечных Ферми-системах.-Одесса: Экология, 20011.-450С.
17. Glushkov A.V., Khetselius O.Yu., Svinarenko A.A., Vitavetskaya L.A., Mathematical Physics of Classical and Quantum Systems, Part 3: Relativistic Quantum Systems”.-Lecture’s Notes-Odessa: OSENU.–80P.
18. Глушков А.В., Хецелиус О.Ю., Дубровская Ю.В., Терновский В.Б., Теория кооперативных квантовых эффектов в атомах в сильном электромагнитном поле.– Одесса: Изд-во ТЕС, 2015.-405С
19. Гриб А.А., Мамаев С.Г., Мостепаненко Г.М., Квантовые эффекты в интенсивных внешних полях.-М: Атомиздат, 1980. – 296С.
20. Глушков А.В. Атом в электромагнитном поле. Численные модели.- Киев: ТНТ, 2006.-450С.

ЗБ-Л2. Елементи квантової теорії розсіювання. 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. 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 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.

Наявне 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. Никифоров А.Ф., Уваров В.Б. Специальные функции математической физики. –М.: Наука.1978.
 4. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М., Теоретическая физика. Т1. Механика.-М: Наука, 1987. – 254С.
 5. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М., Теоретическая физика. Т2. Теория поля.-М: Наука, 1988. – 512С.
 6. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М., Теоретическая физика. Т6. Гідродинамика.-М: Наука, 1989. – 590С.
 7. Ши Д., Численные методы в задачах теплообмена.- М: Мир, 1988. – 550С.
 8. 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: ТЕС, 2015.-180Р.
 9. Glushkov A.V., Khetselius O.Yu., Svinarenko A.A., Methods of computational mathematics and mathematical physics, P.2. Lecture's Notes-Odessa: OSENU, 2015.-140Р.
 10. Глушков А.В., Новые методы математического моделирования в задачах конструктивной географии, гидрометеорологии и экологии.- Одесса: ТЕС.-2014.-405С.
 11. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М., Теоретическая физика. Т3. Квантовая механика. Нерелятивистская теория.-М: Наука, 1989. – 768С.
 12. Берестецкий В.Б., Лифшиц Е.М., Пятаевский Л.П., Теоретическая физика. Т4. Квантовая электродинамика.-М: Наука, 1989. – 728С.
 13. Глушков А.В. Релятивистская квантовая теория. Квантовая механика атомных систем.-Одесса: Экология.-2008. –700С.
 14. Глушков А.В., Релятивистские и корреляционные эффекты в спектрах атомных систем.-Одесса: Экология.-2006. –450С.
 15. Хецелиус О.Ю., Сверхтонкая структура атомных спектров.-Одесса: Астропринт, 2008.-210С.
 16. Хецелиус О.Ю., Квантовая структура электрослабого взаимодействия в тяжелых конечных Ферми-системах.-Одесса: Экология, 2011.-450С.
 17. Glushkov A.V., Khetselius O.Yu., Svinarenko A.A., Vitavetskaya L.A., Mathematical Physics of Classical and Quantum Systems, Part 3: Relativistic Quantum Systems”.-Lecture's Notes-Odessa: OSENU.–80Р.
 18. Глушков А.В., Хецелиус О.Ю., Дубровская Ю.В., Терновский В.Б., Теория кооперативных квантовых эффектов в атомах в сильном электромагнитном поле.– Одесса: Изд-во ТЕС, 2015.-405С
 19. Гриб А.А., Мамаев С.Г., Мостепаненко Г.М., Квантовые эффекты в интенсивных внешних полях.-М: Атомиздат, 1980. – 296С.
 20. Глушков А.В. Атом в электромагнитном поле. Численные модели.- Киев: ТНТ, 2006.-450С.

ЗБ-ЛЗ. Резонанси в процессах 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). 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. 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. 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.

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. Никифоров А.Ф., Уваров В.Б. Специальные функции математической физики. –М.: Наука.1978.
4. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М., Теоретическая физика. Т1. Механіка.-М: Наука, 1987. – 254С.
5. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М., Теоретическая физика. Т2. Теория поля.-М: Наука, 1988. – 512С.
6. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М., Теоретическая физика. Т6. Гідродинаміка.-М: Наука, 1989. – 590С.
7. Ши Д., Численные методы в задачах теплообмена.- М: Мир, 1988. – 550С.
8. 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.
9. 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.
10. Глушков А.В., Новые методы математического моделирования в задачах конструктивной географии, гидрометеорологии и экологии.- Одесса: ТЕС.-2014.-405С.
11. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М., Теоретическая физика. Т3. Квантовая ме-

- ханика. Релятивистская теория.-М: Наука, 1989. – 768С.
12. Берестецкий В.Б., Лифшиц Е.М., Питаевский Л.П., Теоретическая физика. Т4. Квантовая электродинамика.-М: Наука, 1989. – 728С.
 13. Глушков А.В. Релятивистская квантовая теория. Квантовая механика атомных систем.-Одесса: Экология.-2008. –700С.
 14. Глушков А.В., Релятивистские и корреляционные эффекты в спектрах атомных систем.-Одесса: Экология.-2006. –450С.
 15. Хецелиус О.Ю., Сверхтонкая структура атомных спектров.-Одесса: Астропринт, 2008.-210С.
 16. Хецелиус О.Ю., Квантовая структура электрослабого взаимодействия в тяжелых конечных Ферми-системах.-Одесса: Экология, 2011.-450С.
 17. Glushkov A.V., Khetselius O.Yu., Svinarenko A.A., Vitavetskaya L.A., Mathematical Physics of Classical and Quantum Systems, Part 3: Relativistic Quantum Systems”.-Lecture’s Notes-Odessa: OSENU.–80P.
 18. Глушков А.В., Хецелиус О.Ю., Дубровская Ю.В., Терновский В.Б., Теория кооперативных квантовых эффектов в атомах в сильном электромагнитном поле.– Одесса: Изд-во ТЕС, 2015.-405С
 19. Гриб А.А., Мамаев С.Г., Мостепаненко Г.М., Квантовые эффекты в интенсивных внешних полях.-М: Атомиздат, 1980. – 296С.
 20. Глушков А.В. Атом в электромагнитном поле. Численные модели.- Киев: ТНТ, 2006.-450С.

ЗБ-Л4. Теорія резонансів для квантових систем в електромагнітному полі. Теорія ефектів Штарка, Зесмана для атомів (водень та інші) в електричному та магнітному полі. Резонанс форми. Комплексна енергія резонансу. Методи обчислення енергій та ширин штарківських та зесманівських (Ландау) резонансів. 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. 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. 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. Теорія обчислення ймовірностей k -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 (водень, лужні атоми, атоми лантанідів та актинідів тощо.)

Наявне 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. Никифоров А.Ф., Уваров В.Б. Специальные функции математической физики. –М.: Наука.1978.
4. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М., Теоретическая физика. Т1. Механика.-М: Наука, 1987. – 254С.
5. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М., Теоретическая физика. Т2. Теория поля.-М: Наука, 1988. – 512С.
6. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М., Теоретическая физика. Т6. Гидродинамика.-М: Наука, 1989. – 590С.
7. Щи Д., Численные методы в задачах теплообмена.- М: Мир, 1988. – 550С.
8. 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: ТЕС, 2015.-180Р.
9. Glushkov A.V., Khetselius O.Yu., Svinarenko A.A., Methods of computational mathematics and mathematical physics, P.2. Lecture's Notes- Odessa: OSENU, 2015.-140Р.
10. Глушков А.В., Новые методы математического моделирования в задачах конструктивной географии, гидрометеорологии и экологии.-Одесса: ТЕС.- 2014.-405С.
11. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М., Теоретическая физика. Т3. Квантовая механика. Нерелятивистская теория.-М: Наука, 1989. – 768С.
12. Берестецкий В.Б., Лифшиц Е.М., Питаевский Л.П., Теоретическая физика. Т4. Квантовая электродинамика.-М: Наука, 1989. – 728С.
13. Глушков А.В. Релятивистская квантовая теория. Квантовая механика атомных систем.-Одесса: Экология.-2008. –700С.
14. Глушков А.В., Релятивистские и корреляционные эффекты в спектрах атомных систем.-Одесса: Экология.-2006. –450С.
15. Хецелиус О.Ю., Сверхтонкая структура атомных спектров.-Одесса: Астропринт, 2008.-210С.
16. Хецелиус О.Ю., Квантовая структура электрослабого взаимодействия в тяжелых конечных Ферми-системах.-Одесса: Экология, 2011.-450С.
17. Glushkov A.V., Khetselius O.Yu., Svinarenko A.A., Vitavetskaya L.A., Mathematical Physics of Classical and Quantum Systems, Part 3: Relativistic Quantum Systems”.-Lecture's Notes-Odessa: OSENU.–80Р.
18. Глушков А.В., Хецелиус О.Ю., Дубровская Ю.В., Терновский В.Б., Теория кооперативных квантовых эффектов в атомах в сильном электромагнитном поле.– Одесса: Изд-во ТЕС, 2015.-405С
19. Гриб А.А., Мамаев С.Г., Мостепаненко Г.М., Квантовые эффекты в интенсивных внешних полях.-М: Атомиздат, 1980. – 296С.
20. Глушков А.В. Атом в электромагнитном поле. Численные модели.-Киев: ТНТ, 2006.-450С.

6. ПРОГРАМА ПРАКТИЧНИХ БЛОКІВ

Таблиця 3

Змістовні модулі	Назва змістовного блока	Назва теми	Денна форма			Заочна форма				
			Кількість аудиторних годин	Кількість годин СРС	Завдання на СРС	Форми поточного контролю СРС	Кількість аудиторних годин	Кількість годин СРС	Завдання на СРС	Форми поточного контролю СРС
ЗБ- П1	Розв'язання задач квантової геометрії	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 – Гальборкіна, найменших квадратів). Елементи квантової алгебри та геометрії. 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 коор-	5	5	ПУОП	УО	1	8	ПУОП	УО
			5		ПУОП	УО	1	8	ПУОП	УО

		динатах). Хвильові функції зв'язаних станів та станів континууму. Рівняння Шредінгера для квантового осцилятора, атома водню в електричному полі.								
ЗБ- П2	Техніка визначення та обчислення амплітуд непружного та пружного розсіювання. Резонансне розсіювання заряджених частинок	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. 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 спінорбітальній взаємодії. Полюси Редже. Непружне розсіювання повільних частинок (при наявності ре-	5	5	ПУОП	УО	2	8	ПУОП	УО
			5		ПУОП	КР	2	8	ПУОПР	УО

		акцій). 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.								
ЗБ- ПЗ	Визначення та обчислення характеристик резонансів Фано, форми, Штарка, Зеємана, багатофотонних резонансів для атомів у зовнішньому електромагнітному полі.	Одноканальна теорія S-матриці. Теорія резонансів форми. Резонанси Фано. Резонанси закритого типу. Автоінізаційні 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. Калібровочно-інваріантний енергетичний формалізм Глушкова-Іванова-Іванової в	5	5	ПУОП	УО	2	8	ПУОП	УО
			5		ПМКР	КР	2	10	ПМКР	КР (ПО)

		<p>задачах обчислення параметрів автоіонізаційних резонансів та резонансів розсіювання. Золоте правило Фермі. Техніка Глушкова-Іванова-Іванової обчислення амплітуд радіаційних, автоіонізаційних переходів..</p> <p>Теорія автоіонізаційних резонансів для атомів в рідбергівських станах. Елементи теорії резонансної взаємодії рідбергівських атомів в криогенних умовах.</p> <p>Теорія резонансів для квантових систем в електромагнітному полі..</p> <p>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. Теорія Вейля і метод Brändas-Froelich. Формалізм операторної теорія збурень Глушкова-Іванова. Метод квазіенер-</p>								
--	--	---	--	--	--	--	--	--	--	--

		гетичних 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.								
I31	Індивідуальне завдання		-	5	ПЗ	ВІЗ	X	10	X	X
КуР1	Курсова (дослідницька) робота КуР		-	10	ПКуР	ВКуР	X	10		
		Всього	30	30			10	70		

Після вивчення практичних змістовних блоків студенти мають оволодіти наступними **вміннями**.

ЗМ-П1. 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. Алгебра матриць Паулі, Дірака. Квантування стаціонарних, квазістаціонарних станів для рівнянь Шредінгера, Дірака, Клейна-Гордона-Фока. Приклади розв'язування задач квантування станів рівняння Шредінгера для атома 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.

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. Никифоров А.Ф., Уваров В.Б. Специальные функции математической физики. –М.: Наука.1978.
4. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М., Теоретическая физика. Т1. Механика.-М: Наука, 1987. – 254С.
5. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М., Теоретическая физика. Т2. Теория поля.-М: Наука, 1988. – 512С.
6. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М., Теоретическая физика. Т6. Гидродинамика.-М: Наука, 1989. – 590С.
7. Ши Д., Численные методы в задачах теплообмена.- М: Мир, 1988. – 550С.
8. 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.
9. 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.
10. Глушков А.В., Новые методы математического моделирования в задачах конструктивной географии, гидрометеорологии и экологии.- Одесса: TEC.-2014.-405С.
11. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М., Теоретическая физика. Т3. Квантовая механика. Релятивистская теория.-М: Наука, 1989. – 768С.
12. Берестецкий В.Б., Лифшиц Е.М., Питаевский Л.П., Теоретическая физика. Т4. Квантовая электродинамика.-М: Наука, 1989. – 728С.
13. Глушков А.В. Релятивистская квантовая теория. Квантовая механика атомных систем.-Одесса: Экология.-2008. –700С.

14. Глушков А.В., Релятивистские и корреляционные эффекты в спектрах атомных систем.-Одесса: Экология.-2006. –450С.
15. Хецелиус О.Ю., Сверхтонкая структура атомных спектров.-Одесса: Астропринт, 2008.-210С.
16. Хецелиус О.Ю., Квантовая структура электрослабого взаимодействия в тяжелых конечных Ферми-системах.-Одесса: Экология, 20011.-450С.
17. Glushkov A.V., Khetselius O.Yu., Svinarenko A.A., Vitavetskaya L.A., Mathematical Physics of Classical and Quantum Systems, Part 3: Relativistic Quantum Systems”.-Lecture’s Notes-Odessa: OSENU.–80P.
18. Глушков А.В., Хецелиус О.Ю., Дубровская Ю.В., Терновский В.Б., Теория кооперативных квантовых эффектов в атомах в сильном электромагнитном поле.– Одесса: Изд-во ТЕС, 2015.-405С
19. Гриб А.А., Мамаев С.Г., Мостепаненко Г.М., Квантовые эффекты в интенсивных внешних полях.-М: Атомиздат, 1980. – 296С.
20. Глушков А.В. Атом в электромагнитном поле. Численные модели.- Киев: ТНТ, 2006.-450С.

ЗБ-П2. 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. 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. 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.

Наявне 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. Никифоров А.Ф., Уваров В.Б. Специальные функции математической физики. –М.: Наука.1978.
4. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М., Теоретическая физика. Т1. Механіка.-М: Наука, 1987. – 254С.
5. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М., Теоретическая физика. Т2. Теория поля.-М: Наука, 1988. – 512С.
6. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М., Теоретическая физика. Т6. Гідродинаміка.-М: Наука, 1989. – 590С.

7. Ши Д., Численные методы в задачах теплообмена.- М: Мир, 1988. – 550С.
8. 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.
9. 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.
10. Глушков А.В., Новые методы математического моделирования в задачах конструктивной географии, гидрометеорологии и экологии.- Одесса: TEC.-2014.-405С.
11. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М., Теоретическая физика. Т3. Квантовая механика. Нерелятивистская теория.-М: Наука, 1989. – 768С.
12. Берестецкий В.Б., Лифшиц Е.М., Питаевский Л.П., Теоретическая физика. Т4. Квантовая электродинамика.-М: Наука, 1989. – 728С.
13. Глушков А.В. Релятивистская квантовая теория. Квантовая механика атомных систем.-Одесса: Экология.-2008. –700С.
14. Глушков А.В., Релятивистские и корреляционные эффекты в спектрах атомных систем.-Одесса: Экология.-2006. –450С.
15. Хецелиус О.Ю., Сверхтонкая структура атомных спектров.-Одесса: Астропринт, 2008.-210С.
16. Хецелиус О.Ю., Квантовая структура электрослабого взаимодействия в тяжелых конечных Ферми-системах.-Одесса: Экология, 2011.-450С.
17. Glushkov A.V., Khetselius O.Yu., Svinarenko A.A., Vitavetskaya L.A., Mathematical Physics of Classical and Quantum Systems, Part 3: Relativistic Quantum Systems”.-Lecture's Notes-Odessa: OSENU.–80P.
18. Глушков А.В., Хецелиус О.Ю., Дубровская Ю.В., Терновский В.Б., Теория кооперативных квантовых эффектов в атомах в сильном электромагнитном поле.– Одесса: Изд-во TEC, 2015.-405С
19. Гриб А.А., Мамаев С.Г., Мостепаненко Г.М., Квантовые эффекты в интенсивных внешних полях.-М: Атомиздат, 1980. – 296С.
20. Глушков А.В. Атом в электромагнитном поле. Численные модели.- Киев: ТНТ, 2006.-450С.

ЗБ-ПЗ. Резонанси Фано. Резонанси закритого типу. Автоінізаційні 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 водно без та з урахуванням обміну. Розсіювання електронів на складних, багатоелектронних атомах. Урахування обмінно-кореляційних ефектів, міжконфігураційної взаємодії тощо. Релятивістський енергетичний S-матричний формалізм. Калібровочно-інваріантний енергетичний формалізм Глушкова-Іванова-Іванової в за-

дачах 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.

Комплексна енергія резонансу. Методи обчислення енергій та ширин шта-рківських 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. 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 k -фотонного випромінювання енергій та ширин багатофотонних резонансів.

Наявне 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. Никифоров А.Ф., Уваров В.Б. Специальные функции математической физики. –М.: Наука.1978.
4. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М., Теоретическая физика. Т1. Механіка.-М: Наука, 1987. – 254С.
5. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М., Теоретическая физика. Т2. Теория поля.-М: Наука, 1988. – 512С.
6. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М., Теоретическая физика. Т6. Гідродинамика.-М: Наука, 1989. – 590С.
7. Ши Д., Численные методы в задачах теплообмена.- М: Мир, 1988. – 550С.
8. 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.
9. 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.
10. Глушков А.В., Новые методы математического моделирования в задачах конструктивной географии, гидрометеорологии и экологии.- Одесса: TEC.-2014.-405С.
11. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М., Теоретическая физика. Т3. Квантовая ме-

- ханика. Нерелятивистская теория.-М: Наука, 1989. – 768С.
12. Берестецкий В.Б., Лифшиц Е.М., Питаевский Л.П., Теоретическая физика. Т4. Квантовая электродинамика.-М: Наука, 1989. – 728С.
 13. Глушков А.В. Релятивистская квантовая теория. Квантовая механика атомных систем.-Одесса: Экология.-2008. –700С.
 14. Глушков А.В., Релятивистские и корреляционные эффекты в спектрах атомных систем.-Одесса: Экология.-2006. –450С.
 15. Хецелиус О.Ю., Сверхтонкая структура атомных спектров.-Одесса: Астропринт, 2008.-210С.
 16. Хецелиус О.Ю., Квантовая структура электрослабого взаимодействия в тяжелых конечных Ферми-системах.-Одесса: Экология, 20011.-450С.
 17. Glushkov A.V., Khetselius O.Yu., Svinarenko A.A., Vitavetskaya L.A., Mathematical Physics of Classical and Quantum Systems, Part 3: Relativistic Quantum Systems”.-Lecture’s Notes-Odessa: OSENU.–80P.
 18. Глушков А.В., Хецелиус О.Ю., Дубровская Ю.В., Терновский В.Б., Теория кооперативных квантовых эффектов в атомах в сильном электромагнитном поле.– Одесса: Изд-во ТЕС, 2015.-405С
 19. Гриб А.А., Мамаев С.Г., Мостепаненко Г.М., Квантовые эффекты в интенсивных внешних полях.-М: Атомиздат, 1980. – 296С.
 20. Глушков А.В. Атом в электромагнитном поле. Численные модели.-Киев: ТНТ, 2006.-450С.

7. ПРОГРАМА БЛОКІВ НАУКОВОЇ РОБОТИ

В умовах організації навчального процесу для аспірантів (третій рівень освіти) модуль «Наукова робота» є окремою принципово івжливою заліковою одиницею. В рамках дисципліни «Квантова геометрія і динаміка резонансів» пропонуються наступні види наукової роботи: участь у написанні і підготовці до друку наукових статей та тез доповідей на міжнародних, вітчизняних наукових конференціях; участь у науководослідних темах кафедри, у т.ч., НДР теми МОН України, написання відповідних підрозділів дисертаційної роботи.

8. ОРГАНІЗАЦІЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ АСПІРАНТІВ

Таблиця 4

Змістовні блоки	Денна форма				Заочна форма			
	Завдання на СРС	Кільк. годин СРС	Форми контр.СРС	Строки (тиждень)	Завдання на СРС	Кільк. годин СРС	Форми контр.СРС	Час проведення.
1	2	3	4	5	6	7	8	9
ЗБ-Л1	ПЛБ	8	УО	1-3 3	ПЛБ	12	УО	м/сес сесія
ЗБ-Л2	ПЛБ	8	УО	4-6 6	ПЛБ	12	УО	м/сес сесія
ЗБ-П1	ПУОП	5	УО	1-7 8	ПУОП	16	УО	Сесія
ЗБ-І3	ПІЗ	5	ПІЗ1	3-12 11	ПІЗ	10	ПІЗ	Сесія
ЗБ-Л3	ПЛБ	8	УО	7-10 10	ПЛБ	12	УО	м/сес сесія
ЗБ-П2	ПУОП	5	УО	8-12 12	ПУОП	16	УО	Сесія
ЗБ-Л4	ПМКР	11	ПКР	11-15 15	ПЛБ	14	УО	м/сес сесія
ЗБ-КуР	ПКуР	10	ПКуР	4-14 15	ВКуР	10	ПКуР	Сесія
ЗБ-П3	ПЛБ	5	УО	11-14 14	ПЛБ	18	УО	м/сес сесія
I (3)		10			ПІ	10		
	Разом:	75				130		

9. ІНДИВІДУАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ ТА КУРСОВІ РОБОТИ

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

В рамках вивчення дисципліни «Квантова геометрія і динаміка резонансів» для денної та заочної форм навчання індивідуальне завдання міститься у практичному модулі, яке представляє собою домашнє завдання з розв'язанням та письмовим оформленням задач.

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

Звіт про виконання ІЗ подається аспірантом у вигляді текстового документа з титульною сторінкою на аркушах формату А4. Звіт повинен містити детальну інформацію про розв'язання задачі з обов'язковими поясненнями, що спираються на відповідний теоретичний матеріал або детальний переказ теоретичного матеріалу з наведенням прикладів. Не пізніше ніж за 2 тижні до семестрового підсумкового контролю звіт подається викладачу. Оцінка за ІЗ виставляється в інтегральну відомість окремим блоком і враховується в практичній частині контролю.

Перелік тем індивідуальних завдань (ІЗ1, ІЗ2):

Тема індивідуального завдання, як правило, вибирається з урахуванням тематики дисертаційних досліджень аспірантів, а також може бути вибрана у наступному вигляді:

1. Розв'язання рівняння Шредінгера методом функцій Гріна.
2. Метод фазових функцій. Формула Борна.
3. Квазікласична наближення. Розсіювання повільних та швидких частинок, при малих та великих енергіях.
4. Резонансне розсіювання при малих енергіях. Резонанс на квазідискретному рівні. Формула Резерфорда.
5. Система хвильових функцій безперервного спектру для розсіювання в кулонівському та інших полях.
6. Резонансне розсіювання заряджених частинок. Розсіювання при спіно-орбітальній взаємодії. Полюси Редже.
7. Матриця розсіювання. Формули Брейта та Вігнера. Взаємодія у скінченному стані при реакціях. Поведінка перерізу біля порогу реакції.
8. Непружні зіткнення важких частинок з атомами.

Перелік тем курсових (дослідницьких) робіт (КуР1, КуР2).

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.
2. Методи обчислення енергій та ширин штарківських та зєєманівських (Ландау) резонансів.
3. Метод асимптотичних фаз та комплексного перетворення координат. Метод прямого чисельного розв'язання рівняння Шредінгера.
4. Метод теорії збурень та алгоритми сумування розбіжних рядів (Паде, Бореля). Феномен Дайсона.
5. Метод апроксимант Паде, Паде-Ерміта, $1/n$ розкладання.
6. Теорія Вейля і метод Brändas-Froelich.
7. Формалізм операторної теорія збурень Глушкова-Іванова.
8. Метод квазіенергетичних станів Келдиша,
9. Метод функцій Гріна,
10. Метод стохастичних диференціальних рівнянь.
11. Техніка моментів ліній багатofотонного радіаційного поглинання та випромінювання Глушкова-Іванова.

10. Організація поточного, семестрового та підсумкового контролю знань аспірантів

Поточна та підсумкова оцінка рівня знань студентів здійснюється за блоковою системою.

Теоретична частина дисципліни розбита на 4 лекційних змістовних блоків, формою контролю кожного з них є контрольна робота, усне опитування (КР, УО).

Практична частина дисципліни розбита на 3 практичних змістовних блоки, 1 індивідуальне завдання ІЗ та 1 курсову (дослідницьку) роботу КуР. Формою контролю роботи аспіранта на практичних заняттях є усне опитування під час проведення занять (УО), контрольна робота (КР), виконання індивідуальних завдань (ВІЗ), курсової роботи (ВКуР),

Для аспірантів денної та заочної форм навчання питання про допуск до заліку регламентується таким чином: аспірант вважається допущеним до підсумкового контролю з дисципліни, якщо він виконав усі види робіт, передбачені робочою навчальною програмою дисципліни.

Критерії оцінювання письмового заліку

Білет (закритого типу) складаються з 10 питань.

Далі наведений перелік питань:

1. Знаходження власних значень (методи Рітца, Бубнова-Гальоркіна, найменших квадратів).
2. Основи теорії матриць Паулі, Дірака.
3. Квантування стаціонарних, квазістаціонарних станів для рівнянь Шредінгера, Дірака, Клейна-Гордона-Фока.
4. Приклади розв'язування задач квантування станів рівняння Шредінгера для атому водню у кулонівському полі (у сферичних та параболічних координатах).
5. Рівняння Шредінгера для квантового осцилятора, атома водню в електричному полі.
6. Аналітичні властивості, умови унітарності амплітуди розсіювання. Непружне та пружне розсіювання. Розклад по парціальним хвилям.
7. Розв'язання рівняння Шредінгера методом функцій Гріна.
8. Метод фазових функцій. Формула Борна. Квазікласична наближення.
9. Розсіювання повільних та швидких частинок, при малих та великих енергіях.
10. Резонанс на квазідискретному рівні. Формула резерфорда.
11. Резонансне розсіювання заряджених частинок. Розсіювання при спіно-орбітальній взаємодії. Полюси Редже.
12. Матриця розсіювання. Формули Брейта та Вігнера. Взаємодія у скінченному стані при реакціях. Поведінка перерізу біля порогу реакції.
13. Резонанси в процесах розсіювання. Одноканальна теорія S-матриці. Теорія резонансів форми. Резонанси Фано.

14. Автоіонізаційні резонанси в спектрах квантових систем. Діагоналізаційний метод Балашова. Метод Фано.
15. Метод асимптотичних фаз. Резонанси при пружному розсіюванні електронів на простих атомах (водень, гелій).
16. Борнівське наближення для амплітуди розсіювання електрона на атомі водню без та з урахуванням обміну.
17. Розсіювання електронів на складних, багатоелектронних атомах. Урахування обмінно-кореляційних ефектів, міжконфігураційної взаємодії тощо.
18. Релятивістський енергетичний S-матричний формалізм. Релятивістська багаточастинкова теорія збурень. Калібровочно-інваріантний енергетичний формалізм Глушкова-Іванова-Іванової в задачах обчислення параметрів автоіонізаційних резонансів та резонансів розсіювання.
19. Золоте правило Фермі.
20. Техніка Глушкова-Іванова-Іванової обчислення амплітуд радіаційних, автоіонізаційних переходів.
21. Теорія автоіонізаційних резонансів для атомів в рідбергівських станах.
22. Елементи теорії резонансної взаємодії рідбергівських атомів в криогенних умовах.
23. Теорія резонансів для квантових систем в електромагнітному полі. Теорія ефектів Штарка, Зеємана для атомів (водень та інші) в електричному та магнітному полі.
24. Резонанс форми. Комплексна енергія резонансу. Методи обчислення енергій та ширин штарківських та зеєманівських (Ландау) резонансів.
25. Метод асимптотичних фаз та комплексного перетворення координат.
26. Метод прямого чисельного розв'язання рівняння Шредінгера.
27. Метод теорії збурень та алгоритми сумування розбіжних рядів (Паде, Бореля). Феномен Дайсона.
28. Метод апроксимант Паде, Паде-Ерміта, $1/n$ розкладання.
29. Теорія Вейля і метод Brändas-Froelich.
30. Формалізм операторної теорії збурень Глушкова-Іванова. Оптимізація вибору базисів функцій нульового наближення та оцінка поправок другого та вищих порядків теорії збурень.
31. Елементи теорії багатофотонних резонансів для скінченної квантової системи (атом, ядро, молекула) в змінному електромагнітному полі, полі лазерного випромінювання.
32. Метод квазіенергетичних станів Келдиша, формалізм матриць густини.
33. Метод функцій Гріна, метод стохастичних диференціальних рівнянь.
34. Адіабатичний формалізм Гелл-Мана та Лоу і релятивістський енергетичний підхід Глушкова-Іванова-Іванової.
35. Техніка моментів ліній багатофотонного радіаційного поглинання, випромінювання Глушкова-Іванова. Обчислення ймовірностей к-фотонного поглинання, енергій, ширин багатофотонних резонансів.

Правильна відповідь на кожне питання оцінюється у 10 балів від максимально можливої суми (100). **Загальна залікова оцінка** (бал успішності) у цьому випадку є арифметичною сумою оцінок за кожне питання.

Шкала оцінювання за системою ECTS та національною системою

За шкалою ECTS	За національною системою	Бал успішності
	Для заліку	
A	зараховано	90-100
B	зараховано	82-89,9
C	зараховано	74-81,9
D	зараховано	64-73,9
E	зараховано	60-63,9
FX	не зараховано	35-59,9
F	не зараховано	1-34,9

11. Література

Основна література

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. Никифоров А.Ф., Уваров В.Б. Специальные функции математической физики. –М.: Наука.1978.
4. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М., Теоретическая физика. Т6. Гидродинамика.-М: Наука, 1989. – 590С.
5. Ши Д., Численные методы в задачах теплообмена.- М: Мир, 1988. – 550С.
6. 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: ТЕС, 2015.-180P.
7. 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.
8. Глушков А.В., Новые методы математического моделирования в задачах конструктивной географии, гидрометеорологии и экологии.- Одесса: ТЕС.-2014.-405С.
9. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М., Теоретическая физика. Т3. Квантовая механика. Нерелятивистская теория.-М: Наука, 1989. – 768С.
10. Берестецкий В.Б., Лифшиц Е.М., Питаевский Л.П., Теоретическая физика. Т4. Квантовая электродинамика.-М: Наука, 1989. – 728С.
11. Глушков А.В. Релятивистская квантовая теория. Квантовая механика атомных систем.-Одесса: Экология.-2008. –700С.
12. Глушков А.В., Релятивистские и корреляционные эффекты в спектрах атомных систем.-Одесса: Экология.-2006. –450С.
13. Хецелиус О.Ю., Сверхтонкая структура атомных спектров.-Одесса: Астропринт, 2008.-210С.
14. Хецелиус О.Ю., Квантовая структура электрослабого взаимодействия в тяжелых конечных Ферми-системах.-Одесса: Экология, 2011.-450С.
15. Glushkov A.V., Khetselius O.Yu., Svinarenko A.A., Vitavetskaya L.A., Mathematical Physics of Classical and Quantum Systems, Part 3: Relativistic Quantum Systems”.-Lecture's Notes-Odessa: OSENU.–80P.
16. Глушков А.В., Хецелиус О.Ю., Дубровская Ю.В., Терновский В.Б., Теория кооперативных квантовых эффектов в атомах в сильном электромагнитном поле.– Одесса: Изд-во ТЕС, 2015.-405С
17. Гриб А.А., Мамаев С.Г., Мостепаненко Г.М., Квантовые эффекты в интенсивных внешних полях.-М: Атомиздат, 1980. – 296С.

18. Глушков А.В. Атом в электромагнитном поле. Численные модели.- Киев: ТНТ, 2006.-450С.

Додаткова література

1. Wiggins S. Introduction to applied nonlinear dynamical systems and chaos.- New York: Springer-Verlag, 1997.-688 p.
2. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М., Теоретическая физика. Т1. Механика.-М: Наука, 1987. – 254С.
3. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М., Теоретическая физика. Т2. Теория поля.-М: Наука, 1988. – 512С.
4. Perelomov A.M. Generalized coherent states and their applications.- Berlin: Springer, 1986.-320P.
5. Глушков А.В., Хецелиус О.Ю., Свиноренко А.А., Буюджи В.В., Спектроскопия автоионизационных состояний тяжелых атомов и многозарядных ионов: численные модели.-Одеса: ТЕС, 2015.-236С.
6. Glushkov A.V., Nonlinear chaotic dynamics of Quantum systems: Molecules in an electromagnetic field and laser systems/ Glushkov A.V., Buyadzhi V.V., Kvasikova A.S., Ignatenko A.V., Kuznetsova A.A., Prepelitsa G.P., Ternovsky V.B.// Quantum Systems in Physics, Chemistry, and Biology. Series: Progress in Theoretical Chemistry and Physics, Eds. A.Tadjer, R.Pavlov, J.Marvani, E.Brändas, G.Delgado-Barrio (Springer).- 2016-Vol.B30.-P.141-151.
7. Glushkov A.V., Khetselius O.Y., Brusentseva S.V., Zaichko P.A., Ternovsky V.B., Studying interaction dynamics of chaotic systems within a non-linear prediction method: application to neurophysiology// Advances in Neural Networks, Fuzzy Systems and Artificial Intelligence, Series: Recent Advances in Computer Engineering, Ed. J.Balicki.(Gdansk, WSEAS Pub.).- 2014.-Vol.21.-P.69-75.
8. Glushkov A.V., Svinarenko A.A., Buyadzhi V.V., Zaichko P.A., Ternovsky V.B., Chaos-geometric attractor and quantum neural networks approach to simulation chaotic evolutionary dynamics during perception process// Advances in Neural Networks, Fuzzy Systems and Artificial Intelligence, Series: Recent Advances in Computer Engineering, Ed. J.Balicki.(Gdansk, WSEAS Pub.).-2014.-Vol.21.-P.143-150.