

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

Математична фізика класичних та квантових систем

(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)

перший

1, 2

7/210

Залік/Іспит

(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.,
професор кафедри вищої та прикладної математики, д.ф.-м.н., проф.
Свинаренко А.А.,
доцент кафедри вищої та прикладної математики, к.ф.-м.н., доц.
Буяджи В.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., Буяджи В.В.	31.08.2018 р., № 1	03.09.2018 р.
Глушков О.В., Хецеліус О.Ю., Свинаренко А.А.	09.06.2016 р., № 10	01.09.2016 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.....	24
7. Програма блока наукової роботи.....	32
8. Організація самостійної роботи аспірантів.....	33
9. Індивідуальне завдання та курсові роботи	34
10. Організація поточного, семестрового та підсумкового контролю знань аспірантів.....	36
11. Література.....	42

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) заходів контролю СРС під час проведення аудиторних занять
- ВІЗ** – виконання індивідуального завдання
- ВКуР** – виконання курсової роботи
- ВЛБ** – вивчення певних тем лекційного блока
- ПІЗ** – перевірка індивідуального завдання
- ПКР** – перевірка контрольної роботи
- ПКуР** – перевірка курсової роботи
- ПЛЗ** – підготовка до лекційних занять
- ПМКР** – підготовка до контрольної роботи
- ПУОП** – підготовка до усного опитування під час практичних занять
- ПО** – підсумкова оцінка

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 7	Галузь знань: 11. Математика та статистика	Нормативна			
	Рівень освіти: Третій				
Змістовних блоків: лекційних: 13 практичних: 9 4	Спеціальність: 113 – Прикладна математика	Рік підготовки			
		1	1		
	Семестр				
	1	2	1	2	
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			
		55	20	10	5
		Практичні заняття			
		40	20	10	5
		Самостійна робота			
		55	20	130	145
		Індивідуальні завдання			
Загальна кількість годин: денна -300; заочна - 300		Форма підсумкового контролю			
		3	I	3	I
Співвідношення годин (%):	аудиторні заняття самостійна індивідуальна робота	денна	заочна		
		64.0	14.0		
		36.0	86.0		

3. МЕТА ТА ЗАВДАННЯ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Дисципліна «Математична фізика класичних та квантових систем» є обов'язковою 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., вивчення сучасного апарату математичної фізики складних класичних та квантових систем, а також нових методів та алгоритмів математичної фізики складних систем з можливим узагальненням на різноманітні класи математичних, фізико-хімічних, кібернетичних, соціально-економічних та екологічних систем, використання сучасних наукових методів та досягнення наукових результатів, які створюють потенційно нові знання.

Місце дисципліни у структурно-логічній схемі її викладання: отримані знання при вивченні даної дисципліни використовуються при вивченні іншої обов'язкової дисципліни «Обчислювальні методи динаміки класичних та квантових систем» та вибіркових дисциплін «Фрактальна геометрія і теорія хаосу», «Квантова геометрія та динаміка резонансів», «Математичні та фізичні моделі квантових і нейромереж» у циклі професійної підготовки аспірантів. Основні поняття дисципліни – це обов'язковий інструментарій досвідченого фахівця у галузі прикладної математики.

Метою вивчення дисципліни є засвоєння (забезпечення) низки компетентностей, зокрема, оволодіння сучасним апаратом математичної фізики класичних та квантових систем, здатність розвивати та використовувати сучасні математичні підходи, будувати принципово нові методи та алгоритми при вирішенні актуальних проблем теорії та практики складних класичних та квантових систем.

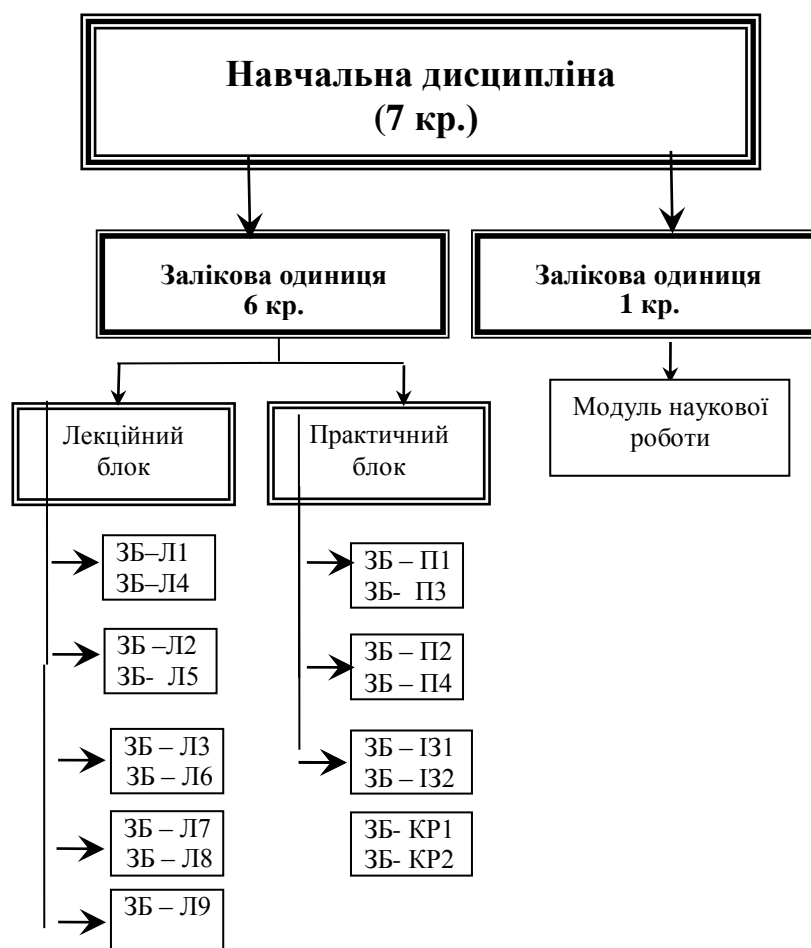
Загальний обсяг навчального часу, що припадає на вивчення дисципліни, становить **300** год. для денної форми навчання та **300** год. для заочної форми навчання.

Після засвоєння цієї дисципліни аспірант повинен уміти розвивати та використовувати нові математичні підходи в теорії класичних та квантових систем, пояснювати наукові принципи системного аналізу, математичного моделювання, програмування і прогнозування складних систем, аналізувати обмежуючі фактори їх використання і невизначеності, що пов'язані з результатами теоретичного моделювання, використовувати сучасні наукові методи досягати наукових результатів, які створюють нові знання.

Вивчення дисципліни «Математична фізика класичних та квантових систем» проводиться на першому році навчання (1 та 2 семестри; денна і заочна форми навчання) і передбачає лекційні та практичні заняття. Види контролю поточних знань – контрольні та курсова роботи, опитування, залік, іспит.

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 аудиторних 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	Додаткові розділи теорії інтегро-диференціальних рівнянь. Поглиблений розгляд. Елементи теорії Спеціальних функцій математичної фізики.	Елементи конструктивної математичної фізики класичних систем. Сучасні традиційні та альтернативні класифікації рівнянь з частинними похідними. Основи теорії інтегральних (інтегро-диференціальних) рівнянь. Інтегральні рівняння Фредгольма: поглиблений розгляд. Резольвента Фредгольма. Удосконалені методи Неймана, Фредгольма. Поняття про діаграмну техніку. Рівняння з виродженими ядрами. Рівняння Вольтера: поглиблений розгляд. Функція Гріна звичайного диференціального оператора. Аналітичні властивості функції Гріна. Рівняння Гельмгольца і Шредінгера. Рівняння Гельмгольца в необмеженій області. Стационарне та нестационарне рівняння Шредінгера. Рівняння математичної фізики у частинних похідних вищих порядків.	4	1	ПЛЗ		1	5	ПЛЗ	
		Спеціальні функції математичної фізики. Класичні ортогональні поліноми, поліноми Чебишева, Ерміта. Елементи теорії гіпергеометричних функцій: визначення та властивості. Рівняння Бесселя і циліндричні функції. Сферичні функції. Поліноми Лежандра, приєднані поліноми Лежандра.	4	1	ПЛЗ	УО			ПЛЗ	УО
ЗБ- Л2	Математична фізика нерелятивістських та релятивістських кла-	Механіка класичних система. Узагальнені координати. Принцип найменшої дії. Функція Лагранжа класичної системи матеріальних точок. Закони збереження енергії, кількості руху, моменту кількості руху. Інваріанти в механіці класичних систем.	4	1	ПЛЗ		1	5	ПЛЗ	

	сичних систем.	Розпади, розсіювання та зіткнення у класичній системі частинок. Канонічні рівняння. Рівняння Гамільтона, Гамільтона-Якобі. Скобки Пуассона. Дія як функція координат. Канонічні перетворення. Теорема Ліувілля. Адіабатичні інваріанти. Релятивістська механіка класичних систем. Перетворення Лоренца і 4-D вектори, швидкості. Принцип найменшої дії. Розпади, розсіювання та зіткнення.			ПУОП				ПУОП	УО
	Елементи математичної гідродинаміки класичних систем.	Елементи гідродинаміки класичних систем. Поглиблений розгляд методів рішень хвильового рівняння, рівнянь теплопровідності, дифузії із стохастичними членами, моделювання процесів теплообміну, конвекції, випромінювання, турбулентності, переносу енергії, маси. Спільна дія теплопровідності, конвекції і випромінювання. Сучасні основи варіаційного числення. Метод центрального інтегрування.	4	1	ПЛЗ		1		ВЛБ	УО
ЗБ- ЛЗ	Математична електродинаміка класичних систем	Математична електродинаміка класичних систем. Електричний заряд і електромагнітне поле. Щільність заряду і щільність струму. 4-мірний потенціал поля. Рівняння руху заряду в полі. Калібрувальна інваріантність. Система рівнянь Максвелла. Тензор електромагнітного поля. Рівняння для потенціалів електромагнітного поля. Плоскі, сферичні хвилі. Стаціонарне поле. Електричне поле і закон Кулона. Елементи теорії потенціалу. Об'ємний потенціал і рівняння Пуассона. Дипольний момент системи. Магнітне поле в дипольному наближенні. Потенціали електромагнітного поля. Електричне, магнітне мультипольне випромінювання.	4	1	ПЛЗ		1	5	ВЛБ	УО
	Елементи релятивістської електродинаміки класичних систем	Елементи релятивістської електродинаміки. Релятивістська коваріантність рівнянь електродинаміки. 4-D вектор щільності струму. 4-D форма закону збереження заряду. Коваріантне рівняння електромагнітного поля в потенціалах.	3	1	ПЛЗ	УО	1		ВЛБ	УО

ЗБ- Л4	Нерелятивістська математична фізика квантових систем	Нерелятивістська теорія квантових систем. Рівняння Шредінгера, основні властивості. Приклади точно розв'язуємих задач нерелятивістської квантової механіки. Рух у центрально-симетричному (кулонівському) полі (у сферичних та параболічних координатах). Елементи математичної теорії моменту імпульсу. Власні функції, момент, парність станів $3j$, $6j$ -символи. Матричні елементи тензорів. Математичні основи теорії пружних та непружних зіткнень. Аналітичні властивості амплітуди розсіювання. Резонансне розсіювання при малих енергіях. Формула Резерфорда. Полюса Редже. Матриця розсіювання при наявності реакцій. Формули Брейта та Вагнера. Непружні зіткнення електронів з атомами.	7	1	ПЛЗ	УО	1	5	ВЛМ	УО
ЗБ- Л5	Математична фізика багаточастинкових квантових систем	Формалізм теорії збурень для вироджених та невиражених станів. Секулярна теорія збурень. Методи теорії самоузгодженого поля (Хартрі-Фока, Хартрі-Слетера, Х-метод, метод псевдо- та модельного потенціалу). Елементи теорії Томаса-Фермі та функціонала густини. Метод багаточастинкової теорії збурень з Хартрі-Фоківським нульовим наближенням. Елементи Фейнманівської діаграмної техніки. Теорія розв'язання рівнянь Хартрі-Фоку для електронів в атомах, молекулах, кристалі. Алгебраїчна проблема власних значень для рівнянь Хартрі-Фока. Визначення хвильових функцій Хартрі-Фоку електронів. Інтеграл перекриття Матричні елементи операторів кінетичної енергії, електронно-ядерної взаємодії, обмінної взаємодії. Математичні основи теорії міжелектронних кореляцій (ефекти поляризації, екранування, ітерації масового оператора). Оптимізація нульового наближення теорії збурень та чисельна оцінка поправок вищих порядків. Калібрувальні-інваріантні схеми.	9	1	ПЛЗ	УО	1	5	ВЛБ	УО
					ПЛЗ	УО			ВЛБ	УО

	Математичні основи квантової електродинаміки фотона	Квантування електромагнітного поля. Фотони. Рівняння Максвелла і плоскі монохроматичні хвилі. Калібрувальна інваріантність. Правила квантування. Оператори народження та знищення фотона. Багатофотонні вектори стану. Рівняння руху Гейзенберга. Момент, парність та спін фотона. Поздовжній і скалярний фотони. Комутатори польових операторів. Нормальне і хронологічне добутки. Метод вторинного квантування в теорії систем багатьох частинок. Квантування скалярного та спірного полів. Наближення Хартрі-Фока. Електронно-дірковий формалізм. Елементи квантової електродинаміки.	4	1	ПЛЗ	УО	1	5	ВЛМ	УО
ЗБ- Л6	Математичні основи квантової електродинаміки Фермі-систем	Квантування станів релятивістського рівняння Дірака. Релятивістське рівняння Дірака для електрона у зовнішньому полі. Квантування квазістаціонарних станів рівняння Дірака для електрона в кулонівському полі. Лоренцева інваріантність рівнянь Дірака. Рух у центрально-симетричному (кулонівському) полі. Система хвильових функцій безперервного спектру для розсіювання в кулонівському полі. Релятивістська багаточастинкова теорія збурень до визначення енергетичних рівнів, констант надтонкої структури. Математичні основи теорії радіаційних поправок. Лембівський зсув та поляризація вакууму. Розбіжності в S-матриці. Радіаційні поправки до закону Кулона. Поляризаційний оператор. Обчислення уявної частини поляризаційного оператора по інтегралу Фейнмана. Електромагнітний форм-фактор електрона та магнітний момент. Радіаційні поправки до розсіювання електрона у зовнішньому полі. Радіаційний зсув енергетичних рівні атомів, мезоатомів, адронних атомів. Рух спину у зовнішньому полі та розсіювання нейтронів. Рівняння Клейна-Гордона-Фока.	5	1	ПЛЗ	УО	1		ВЛМ	УО

	Математичні основи формалізму теорії збурень	Формалізм теорії збурень. Гамільтоніан взаємодії і уявлення взаємодії. Матриці розсіювання. Теореми Віка. Обчислення матричних елементів процесів розсіювання. Графічне представлення процесів розсіювання. Правила Фейнмана. Обчислення перетинів і часів життя. Математичні основи теорії взаємодії електронів та електронів і фотонів. Рівняння Брейта. Теорія іонізаційних втрат. Теорія тормозного випромінювання. Метод еквівалентних фотонів. Елементи теорії народження електрон-позитронних пар.	5	1	ПЛЗ	УО	1	5	ВЛМ	
ЗБ- Л7	Математичні основи теорії функцій Гріна	Основи теорії функцій Гріна. Електронний та фотонний пропагатор. Функції поширення вільних полів. Спектральне уявлення функцій Гріна скалярного взаємодіючого поля. Спектральне уявлення функцій Гріна взаємодіючого спірного поля. Обчислення функцій Гріна методом теорії збурень. Функція Гріна рівняння Дірака з несингулярним потенціалом та комплексною енергією. Роль функцій Гріна при підсумовуванні матричних елементів діаграм Фейнмана. Вершинні функції. Рівняння Дайсона. Тотожність Уорда. Аналітичні властивості фотонного пропагатора. Регуляризація інтегралів Фейнмана.	4	1	ПЛЗ	УО	1		ВЛМ	УО
ЗБ- Л8	Математичні основи квантової теорії випромінювання	Математичні основи теорії випромінювання та розсіювання світла. Основи математичної теорії спектрів атомів, двоатомних молекул, ядер. Оператор електромагнітної взаємодії. Електричне та магнітне мультипольне випромінювання. Релятивістська квантова теорія електромагнітного випромінювання. Релятивістський	6	1	ПЛЗ	УО	1	5	ВЛБ	УО

	<p>Математична фізика нового класу кооперативних квантових ефектів</p>	<p>енергетичний підхід до визначення сил осциляторів багатозарядних іонів. Деякі обчислювальні приклади. Випромінювання атомів: електричний та магнітний тип. Ефекти Штарка та Зеємана. Теорія збурень для атому у постійному електричному та магнітному полях. Чисельне інтегрування рівняння Шредінгера для атому в електричному полі. Операторна теорія збурень Глушкова-Іванова. Теорія квазістаціонарних станів. Математична фізика атомних систем у полі лазерного випромінювання. Методи розв'язання задач про розповсюдження лазерних імпульсів у різноманітних середовищах. Випромінювання двоатомних молекул, ядер. Елементи теорії фотоэффекту. Математичні основи теорії розсіювання. Тензор розсіювання. Амплітуда розсіювання. Розкладення по парціальним амплітудам. Математичні основи теорії форма спектральної лінії. Природня ширина спектральних ліній. Математична фізика нового класу кооперативних лазерних електрон-гамма-ядерних ефектів у скінчених Фермі-системах (атомних і молекулярних системах). Релятивістський енергетичний підхід в теорії кооперативних електрон-гамма-ядерних процесів в Фермі-системах. Квантовий підхід до опису електрон-γ-ядерних спектрів дво- та багато-атомних молекул. Релятивістський енергетичний підхід в теорії кооперативних електрон-γ-ядерних процесів типу «ядерне збудження – електронні переходи», NEET, NEES. Приклади визначення ймовірностей процесів.</p>	3	1	ПЛЗ	УО	1		ВЛБ	УО
--	--	---	---	---	-----	----	---	--	-----	----

ЗБ- Л9	Математична фізика кооперативних квантових процесів за участю елементарних частинок	Математична фізика кооперативних квантових процесів за участю елементарних частинок. Електрон-бета-ядерна спектроскопія атомів і молекул. Ефект впливу хімічного оточення на параметри бета-розпаду. Основні методи в теорії бета-розпаду і кооперативних електрон-бета-ядерних процесів. Теоретичні моделі електронного перегрупування, індукованого ядерною трансмутацією. Теорія впливу хімічного навколишнього середовища на параметри бета-розпаду. Приклади: бета-розпад гелію, тритію та інші. Новий квантовий релятивістський підхід в теорії кооперативних мюон- гамма-ядерних процесів: Захоплення негативних мюонів і метастабільна розрядка ядра. Елементи загального формалізму. Захоплення негативних мюонів атомом гелія. Релятивістська теорія розряду метастабільних ядер під час захоплення негативного мюона. Математичні основи теорії неелектромагнітної (сильної, слабкої) взаємодії. Теоретичні моделі електрослабкої взаємодії. Математична фізика ефектів незбереження парності у важких атомних та ядерних системах. Елементи теорії квантової структури адронів, мезонів. Елементи квантової електродинаміки адронів. Електромагнітні форм-фактори та мультипольні моменти адронів. Низько-енергетичні теореми для тормозного випромінювання та розсіювання фотона і електрона на адроні.	6	1	ПЛЗ	УО	1	5	ВЛБ	УО
	Математичні основи квантової електродинаміки адронів, мезонів		3	1	ПМКР (ПО)	УО	1		ПМКР (ПО)	КР ПКР
Підготовка до іспиту (заліку)			10 (7)				15 (10)			
Всього		75	33			15	70			

Після вивчення лекційних змістовних блоків аспіранти мають оволодіти наступними знаннями.

ЗБ-Л1. Елементи конструктивної математичної фізики класичних систем. Сучасні традиційні та альтернативні класифікації рівнянь з частинними похідними. Основи теорії інтегральних (інтегро-диференціальних) рівнянь. Інтегральні рівняння Фредгольма: поглиблений розгляд. Резольвента Фредгольма. Удосконалені методи Неймана, Фредгольма. Поняття про діаграмну техніку. Рівняння з виродженими ядрами. Рівняння Вольтера: поглиблений розгляд. Функція Гріна звичайного диференціального оператора. Аналітичні властивості функції Гріна. Рівняння Гельмгольца і Шредінгера. Рівняння Гельмгольца в необмеженій області. Стаціонарне та нестаціонарне рівняння Шредінгера. Рівняння математичної фізики у частинних похідних вищих порядків. Спеціальні функції математичної фізики. Класичні ортогональні поліноми, поліноми Чебишева, Ерміта. Елементи теорії гіпергеометричних функцій: визначення та властивості. Рівняння Бесселя і циліндричні функції. Сферичні функції. Поліноми Лежандра, приєднані поліноми Лежандра

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.

ЗБ-Л2. Механіка класичних система. Узагальнені координати. Принцип найменшої дії. Функція Лагранжа класичної системи матеріальних точок. Закони збереження енергії, кількості руху, моменту кількості руху. Інваріанти в механіці класичних систем. Розпади, розсіювання та зіткнення у класичній системі частинок. Канонічні рівняння. Рівняння Гамільтона, Гамільтона-Якобі. Скобки Пуассона. Дія як функція координат. Канонічні перетворення. Теорема Ліувілля. Адіабатичні інваріанти. Релятивістська механіка класичних систем. Перетворення Лоренца. 4-D вектори, швидкості. Принцип найменшої дії. Розпади, розсіювання та зіткнення. Елементи гідродинаміки класичних систем. Поглиблений розгляд методів рішень хвильового рівняння, рівнянь теплопровідності, дифузії із стохастичними членами, моделювання процесів теплообміну, конвекції, випромінювання, турбулентності, переносу енергії, маси. Спільна дія теплопровідності, конвекції і випромінювання. Сучасні основи варіаційного числення. Метод центрального інтегрування.

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.

ЗБ-Л3. Математична електродинаміка класичних систем. Електричний заряд і електромагнітне поле. Щільність заряду і щільність струму. 4-мірний потенціал поля. Рівняння руху заряду в полі. Калібрувальна інваріантність. Система рівнянь Максвелла. Тензор електромагнітного поля. Рівняння для потенціалів електромагнітного поля. Плоскі, сферичні хвилі. Стаціонарне поле. Електричне поле і закон Кулона. Елементи теорії потенціалу. Об'ємний потенціал і рівняння Пуассона. Дипольний момент системи. Магнітне поле в дипольному наближенні. Потенціали електромагнітного поля. Електричне, магнітне мультіпольне випромінювання. Елементи релятивістської електродинаміки. Релятивістська коваріантність рівнянь електродинаміки. 4-D вектор щільності струму. 4-D форма закону збереження заряду. Коваріантне рівняння електромагнітного поля в потенціалах.

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. Т2. Теория поля.- М: Наука, 1988. – 512С.
5. 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.
6. 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.
7. Глушков А.В., Новые методы математического моделирования в задачах конструктивной географии, гидрометеорологии и экологии.- Одесса: TEC.-2014.-405С.

ЗБ-Л4. Нерелятивістська теорія квантових систем. Рівняння Шредінгера, основні властивості. Приклади точно розв'язуємих задач нерелятивістської квантової механіки. Рух у центрально-симетричному (кулонівському) полі (у сферичних та параболічних координатах). Елементи математичної теорії моменту імпульсу. Власні функції, момент, парність станів $3j$, $6j$ -символи. Матричні елементи тензорів. Математичні основи теорії пружних та непружних зіткнень. Аналітичні властивості амплітуди розсіювання. Резонансне розсіювання при малих енергіях. Формула Резерфорда. Полюса Редже. Матриця розсіювання при наявності реакцій. Формули Брейта та Вагнера. Непружні зіткнення електронів з атомами

Наявне навчально-методичне забезпечення:

1. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М., Теоретическая физика. Т3. Квантовая механика. Нерелятивистская теория.-М: Наука, 1989. – 768С.
2. Берестецкий В.Б., Лифшиц Е.М., Питаевский Л.П., Теоретическая физика. Т4. Квантовая электродинамика.-М: Наука, 1989. – 728С.
3. Глушков А.В. Релятивистская квантовая теория. Квантовая механика атомных систем.-Одесса: Экология.-2008. –700С.
4. Глушков А.В., Релятивистские и корреляционные эффекты в спектрах атомных систем.-Одесса: Экология.-2006. –450С.
5. Хецелиус О.Ю., Сверхтонкая структура атомных спектров.-Одесса: Астропринт, 2008.-210С.
6. Хецелиус О.Ю., Квантовая структура электрослабого взаимодействия в тяжелых конечных Ферми-системах.-Одесса: Экология, 20011.-450С.
7. 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.
8. 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
9. Гриб А.А., Мамаев С.Г., Мостепаненко Г.М., Квантовые эффекты в интенсивных внешних полях.-М: Атомиздат, 1980. – 296С.
10. Глушков А.В. Атом в электромагнитном поле. Численные модели.- Киев: ТНТ, 2006.-450С.

ЗБ-Л5. Формалізм теорії збурень для вироджених та невиражених станів. Секулярна теорія збурень. Методи теорії самоузгодженого поля (Хартрі-Фока, Хартрі-Слетера, Х-метод, метод псевдо- та модельного потенціалу). Елементи теорії Томаса-Фермі та функціонала густини. Метод багаточастинкової теорії збурень з Хартрі-Фоківським нульовим наближенням. Елементи Фейнманівської діаграмної техніки. Теорія розв’язання рівнянь Хартрі-Фоку для електронів в атомах, молекулах, кристалі. Алгебраїчна проблема власних значень для рівнянь Хартрі-Фока. Визначення хвильових функцій Хартрі-Фоку електронів. Інтегралі перекриття Матричні елементи операторів кінетичної енергії, електронно-ядерної взаємодії, обмінної взаємодії. Математичні основи теорії міжелектронних кореляцій (ефекти поляризації, екранування, ітерації масового оператору). Оптимізація нульового наближення теорії збурень та чисельна оцінка поправок вищих порядків. Калібрувальні-інваріантні схеми.

Нааявне навчально-методичне забезпечення:

1. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М., Теоретическая физика. Т3. Квантовая механика. Нерелятивистская теория.-М: Наука, 1989. – 768С.
2. Берестецкий В.Б., Лифшиц Е.М., Пятаевский Л.П., Теоретическая физика. Т4. Квантовая электродинамика.-М: Наука, 1989. – 728С.
3. Глушков А.В. Релятивистская квантовая теория. Квантовая механика атомных систем.-Одесса: Экология.-2008. –700С.
4. Глушков А.В., Релятивистские и корреляционные эффекты в спектрах атомных систем.-Одесса: Экология.-2006. –450С.
5. Хецелиус О.Ю., Сверхтонкая структура атомных спектров.-Одесса: Астропринт, 2008.-210С.
6. Хецелиус О.Ю., Квантовая структура электрослабого взаимодействия в тяжелых конечных Ферми-системах.-Одесса: Экология, 2011.-450С.
7. 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.
8. 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
9. Гриб А.А., Мамаев С.Г., Мостепаненко Г.М., Квантовые эффекты в интенсивных внешних полях.-М: Атомиздат, 1980. – 296С.
10. Глушков А.В. Атом в электромагнитном поле. Численные модели.- Киев: ТНТ, 2006.-450С.

ЗБ-Л6. Квантування електромагнітного поля. Фотони. Рівняння Максвелла і плоскі монохроматичні хвилі. Калібрувальна інваріантність. Правила квантування. Оператори народження та знищення фотона. Багатофотонні вектори стану. Рівняння руху Гейзенберга. Момент, парність та спіні фотона. Поздовжній і скалярний фотони. Комутатори польових операторів. Нормальне і хронологічне добутки. Метод вторинного квантування в теорії систем багатьох частинок. Квантування скалярного та спінорного полів. Наближення Хартрі-Фока. Електронно-дірковий формалізм. Елементи квантової електродинаміки. Квантування станів релятивістського рівняння Дірака. Релятивістське рівняння Дірака для електрона у зовнішньому полі. Квантування квазістаціонарних станів рівняння Дірака для електрона в кулонівському полі. Лоренцева інваріантність рівнянь Дірака. Рух у центрально-симетричному (кулонівському) полі. Система хвильових функцій безперервного спектру для розсіювання в кулонівському полі. Релятивістська багаточастинкова теорія збурень до визначення енергетичних рівнів, констант надтонкої структури. Математичні основи теорії радіаційних поправок. Лембівський зсув та поляризація вакууму. Розбіжності в S-матриці. Радіаційні поправки до закону Кулона. Поляризаційний оператор. Обчислення уявної частини поляризаційного оператора по інтегралу Фейнмана.

Електромагнітний форм-фактор електрона та магнітний момент. Радіаційні поправки до розсіювання електрона у зовнішньому полі. Радіаційний зсув енергетичних рівні атомів, мезоатомів, адронних атомів. Рух спини у зовнішньому полі та розсіювання нейтронів. Рівняння Клейна-Гордона-Фока.

Наявне навчально-методичне забезпечення:

1. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М., Теоретическая физика. Т3. Квантовая механика. Релятивистская теория.-М: Наука, 1989. – 768С.
2. Берестецкий В.Б., Лифшиц Е.М., Питаевский Л.П., Теоретическая физика. Т4. Квантовая электродинамика.-М: Наука, 1989. – 728С.
3. Глушков А.В. Релятивистская квантовая теория. Квантовая механика атомных систем.-Одесса: Экология.-2008. –700С.
4. Глушков А.В., Релятивистские и корреляционные эффекты в спектрах атомных систем.-Одесса: Экология.-2006. –450С.
5. Хецелиус О.Ю., Сверхтонкая структура атомных спектров.-Одесса: Астропринт, 2008.-210С.
6. Хецелиус О.Ю., Квантовая структура электрослабого взаимодействия в тяжелых конечных Ферми-системах.-Одесса: Экология, 20011.-450С.
7. 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.
8. 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
9. Гриб А.А., Мамаев С.Г., Мостепаненко Г.М., Квантовые эффекты в интенсивных внешних полях.-М: Атомиздат, 1980. – 296С.
10. Глушков А.В. Атом в электромагнитном поле. Численные модели.- Киев: ТНТ, 2006.-450С.

ЗБ-Л7. Формалізм теорії збурень. Гамільтоніан взаємодії і уявлення взаємодії. Матриці розсіювання. Теорема Віка. Обчислення матричних елементів процесів розсіювання. Графічне представлення процесів розсіювання. Правила Фейнмана. Обчислення перетинів і часів життя. Математичні основи теорії взаємодії електронів та електронів і фотонів. Рівняння Брейта. Теорія іонізаційних втрат. Теорія тормозного випромінювання. Метод еквівалентних фотонів. Елементи теорії народження електрон-позитронних пар. Основи теорії функцій Гріна. Електронний та фотонний пропагатор. Функції поширення вільних полів. Спектральне уявлення функцій Гріна скалярного взаємодіючого поля. Спектральне уявлення функцій Гріна взаємодіючого спінорного поля. Обчислення функцій Гріна методом теорії збурень. Функція Гріна рівняння Дірака з несингулярним потенціалом та комплексною енергією. Роль функцій Гріна при підсумовуванні матричних

елементів діаграм Фейнмана. Вершинні функції. Рівняння Дайсона. Тотальність Уорда. Аналітичні властивості фотонного пропагатора. Регуляризація інтегралів Фейнмана.

Найважче навчально-методичне забезпечення:

1. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М., Теоретическая физика. Т3. Квантовая механика. Нерелятивистская теория.-М: Наука, 1989. – 768С.
2. Берестецкий В.Б., Лифшиц Е.М., Питаевский Л.П., Теоретическая физика. Т4. Квантовая электродинамика.-М: Наука, 1989. – 728С.
3. Глушков А.В. Релятивистская квантовая теория. Квантовая механика атомных систем.-Одесса: Экология.-2008. –700С.
4. Глушков А.В., Релятивистские и корреляционные эффекты в спектрах атомных систем.-Одесса: Экология.-2006. –450С.
5. Хецелиус О.Ю., Сверхтонкая структура атомных спектров.-Одесса: Астропринт, 2008.-210С.
6. Хецелиус О.Ю., Квантовая структура электрослабого взаимодействия в тяжелых конечных Ферми-системах.-Одесса: Экология, 20011.-450С.
7. 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.
8. 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
9. Гриб А.А., Мамаев С.Г., Мостепаненко Г.М., Квантовые эффекты в интенсивных внешних полях.-М: Атомиздат, 1980. – 296С.
10. Глушков А.В. Атом в электромагнитном поле. Численные модели.- Киев: ТНТ, 2006.-450С.

ЗБ-Л8. Математичні основи теорії випромінювання та розсіювання світла. Основи математичної теорії спектрів атомів, двохатомних молекул, ядер. Оператор електромагнітної взаємодії. Електричне та магнітне мультипольне випромінювання. Релятивістська квантова теорія електромагнітного випромінювання. Релятивістський енергетичний підхід до визначення сил осциляторів багатозарядних іонів. Деякі обчислювальні приклади. Випромінювання атомів: електричний та магнітний тип. Ефекти Штарка та Зеемана. Теорія збурень для атому у постійному електричному та магнітному полях. Чисельне інтегрування рівняння Шредінгера для атому в електричному полі. Операторна теорія збурень Глушкова-Іванова. Теорія квазістаціонарних станів. Математична фізика атомних систем у полі лазерного випромінювання. Методи розв’язання задач про розповсюдження лазерних імпульсів у різноманітних середовищах. Випромінювання двохатомних молекул, ядер. Елементи теорії фотоефекту. Математичні основи теорії розсіювання. Тензор розсіювання. Амплітуда розсіювання. Розкладення по

парціальним амплітудам. Математичні основи теорії форма спектральної лінії. Природня ширина спектральних ліній. Математична фізика нового класу кооперативних лазерних електрон-гамма-ядерних ефектів у скінчених Фермі-системах (атомних і молекулярних системах). Релятивістський енергетичний підхід в теорії кооперативних електрон-гамма-ядерних процесів в Фермі-системах. Квантовий підхід до опису електрон- γ -ядерних спектрів дво- та багато-атомних молекул. Релятивістський енергетичний підхід в теорії кооперативних електрон- γ -ядерних процесів типу «ядерне збудження – електронні переходи», NEET, NEES. Приклади визначення ймовірностей процесів.

Наявне навчально-методичне забезпечення:

1. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М., Теоретическая физика. Т3. Квантовая механика. Нерелятивистская теория.-М: Наука, 1989. – 768С.
2. Берестецкий В.Б., Лифшиц Е.М., Питаевский Л.П., Теоретическая физика. Т4. Квантовая электродинамика.-М: Наука, 1989. – 728С.
3. Глушков А.В. Релятивистская квантовая теория. Квантовая механика атомных систем.-Одесса: Экология.-2008. –700С.
4. Глушков А.В., Релятивистские и корреляционные эффекты в спектрах атомных систем.-Одесса: Экология.-2006. –450С.
5. Хецелиус О.Ю., Сверхтонкая структура атомных спектров.-Одесса: Астропринт, 2008.-210С.
6. Хецелиус О.Ю., Квантовая структура электрослабого взаимодействия в тяжелых конечных Ферми-системах.-Одесса: Экология, 20011.-450С.
7. 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.
8. 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
9. Гриб А.А., Мамаев С.Г., Мостепаненко Г.М., Квантовые эффекты в интенсивных внешних полях.-М: Атомиздат, 1980. – 296С.
10. Глушков А.В. Атом в электромагнитном поле. Численные модели.- Киев: ТНТ, 2006.-450С.

ЗБ-Л9. Математична фізика кооперативних квантових процесів за участю елементарних частинок. Електрон-бета-ядерна спектроскопія атомів і молекул. Ефект впливу хімічного оточення на параметри бета-розпаду. Основні методи в теорії бета-розпаду і кооперативних електрон-бета-ядерних процесів. Теоретичні моделі електронного перегрупування, індукованого ядерною трансмутацією. Теорія впливу хімічного навколишнього середовища на параметри бета-розпаду. Приклади: бета-розпад гелію, тритію та інші. Новий квантовий релятивістський підхід в теорії кооперативних мю-

он- гамма-ядерних процесів: Захоплення негативних мюонів і метастабільна розрядка ядра. Елементи загального формалізму. Захоплення негативних мюонів атомом гелію. Релятивістська теорія розряду метастабільних ядер під час захоплення негативного мюона. Математичні основи теорії неелектромагнітної (сильної, слабкої) взаємодії. Теоретичні моделі електрослабкої взаємодії. Математична фізика ефектів незбереження парності у важких атомних та ядерних системах. Елементи теорії квантової структури адронів, мезонів. Елементи квантової електродинаміки адронів. Електромагнітні форм-фактори та мультипольні моменти адронів. Низькоенергетичні теореми для тормозного випромінювання та розсіювання фотона і електрона на адроні.

Наявне навчально-методичне забезпечення:

1. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М., Теоретическая физика. Т3. Квантовая механика. Нерелятивистская теория.-М: Наука, 1989. – 768С.
2. Берестецкий В.Б., Лифшиц Е.М., Пятаевский Л.П., Теоретическая физика. Т4. Квантовая электродинамика.-М: Наука, 1989. – 728С.
3. Глушков А.В. Релятивистская квантовая теория. Квантовая механика атомных систем.-Одесса: Экология.-2008. –700С.
4. Глушков А.В., Релятивистские и корреляционные эффекты в спектрах атомных систем.-Одесса: Экология.-2006. –450С.
5. Хецелиус О.Ю., Сверхтонкая структура атомных спектров.-Одесса: Астропринт, 2008.-210С.
6. Хецелиус О.Ю., Квантовая структура электрослабого взаимодействия в тяжелых конечных Ферми-системах.-Одесса: Экология, 20011.-450С.
7. 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.
8. 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
9. Гриб А.А., Мамаев С.Г., Мостепаненко Г.М., Квантовые эффекты в интенсивных внешних полях.-М: Атомиздат, 1980. – 296С.
10. 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	Додаткові розділи теорії інтегро-диференціальних рівнянь. Елементи теорії спеціальних функцій	Основні методи розв'язання інтегральних (інтегро-диференціальних) рівнянь. Інтегральні рівняння Фредгольма. Рівняння з виродженими ядрами. Рівняння Вольтера. Визначення функції Гріна звичайного диференціального оператора. Рівняння Гельмгольца і Шредінґеру. Стационарне та нестационарне рівняння Шредінґеру. Рівняння матфізики у частинних похідних. Спеціальні функції математичної фізики. Операції з поліномами Чебишева, Ерміта, Лежандра, гіпергеометричними функціями. Рівняння Бесселя, циліндричні, сферичні функції. Закони збереження енергії, кількості руху, моменту кількості руху. Задачі щодо розпадів, розсіювання та зіткнень у класичній системі частинок. Рівняння Гамільтона, Гамільтона-Якобі. Скобки Пуассона. Дія як функція координат. Релятивістська механіка класичних систем. Перетворення Лоренца. 4-D вектори, швидкості. Елементи гідродинаміки класичних систем. Поглиблений розгляд методів рішень хвильового рівняння, рівнянь теплопровідності, дифузії із стохастичними членами, моделювання процесів теплообміну, конвекції, випромінювання, турбулентності, переносу енергії, маси.	7	3	ПУОП	УО	2	8	ПУОП	УО
	Математична фізика класичних систем. Елементи математичної гідродинаміки		7		ПУОП	УО	1	7	ПУОП	УО

ЗБ- П2	Математична електродинаміка класичних систем. Нерелятивістська математична фізика квантових систем	Математична електродинаміка класичних систем. Рівняння руху заряду в полі. Калібрувальна інваріантність. Система рівнянь Максвелла. Рівняння для потенціалів електромагнітного поля. Плоскі, сферичні хвилі. Електричне поле і закон Кулона. Елементи теорії потенціалу. Об'ємний потенціал і рівняння Пуассона. Дипольний момент системи. Магнітне поле в дипольному наближенні. Потенціали електромагнітного поля. Електричне, магнітне мультипольне випромінювання. Елементи релятивістської електродинаміки. Релятивістська коваріантність рівнянь електродинаміки. 4-D вектор щільності струму. 4-D форма закону збереження заряду. Коваріантне рівняння електромагнітного поля в потенціалах. Нерелятивістська теорія квантових систем. Приклади точно розв'язуємих задач нерелятивістської квантової механіки. Рух у центрально-симетричному (кулонівському) полі (у сферичних та параболічних координатах). Елементи математичної теорії моменту імпульсу. Математичні основи теорії пружних та непружних зіткнень. Резонансне розсіювання при малих енергіях. Матриця розсіювання при наявності реакцій.	8	3	ПУОП	УО	2	7	ПУОП	УО
			8		ПМКР	КР	2	8	ПМКР	КР (ПО)
ЗБ- П3	Математична фізика багаточастинкових квантових систем.	Методи теорії збурень для вироджених та невиражених станів. Методи теорії самоузгодженого поля (Хартрі-Фока, Хартрі-Слетера, Х-метод, метод псевдо-та модельного потенціалу). Елементи теорії Томаса-Фермі та функціонала густини. Теорія розв'язання рівнянь Хартрі-Фоку для еле-	8	3	ПУОП	УО	2	10	ПУОП	УО

<p>Математичні основи квантової електродинаміки Фермі-систем. Математичні основи теорії функцій Гріна</p>	<p>ктронів в атомах, молекулах, кристалі. Алгебраїчна проблема власних значень для рівнянь Хартрі-Фока. Математичні основи теорії міжелектронних кореляцій. Рівняння Максвелла і плоскі монохроматичні хвилі. Рівняння руху Гейзенберга. Метод вторинного квантування в теорії систем багатьох частинок. Квантування скалярного та спірного полів. Квантування станів релятивістського рівняння Дірака. Релятивістське рівняння Дірака для електрона у зовнішньому полі. Релятивістська багаточастинкова теорія збурень до визначення енергетичних рівнів, констант надтонкої структури. Лембівський зсув та поляризація вакууму. Радіаційні поправки до закону Кулона. Обчислення уявної частини поляризаційного оператора по інтегралу Фейнмана. Радіаційний зсув енергетичних рівнів атомів, мезоатомів, адронних атомів. Рівняння Клейна-Гордона-Фока. Обчислення матричних елементів процесів розсіювання. Обчислення перетинів і часів життя. Методи обчислення і функцій Гріна. Електронний та фотонний пропагатор. Обчислення функцій Гріна методом теорії збурень. Функція Гріна рівняння Дірака з несингулярним потенціалом та комплексною енергією. Регуляризація інтегралів Фейнмана. Приклади визначення параметрів енергетичних рівнів, надтонкої структури (атом водню і надважкого H-подібного іона з $Z = 170$, Li-подібні багатозарядні іони, атоми ^{133}Cs, ^{235}U, ^{201}Hg, ^{227}Ra). Обчислення рівнів енергії, параметри сили осциляторів для деяких релятивістських атомних систем на основі релятивістської теорії збурень багатьох тіл.</p>	8		ПУОП	УО	2	8	ПУОП	УО
---	---	---	--	------	----	---	---	------	----

ЗБ- П4	Математичні основи квантової теорії випромінювання.	Математичні основи теорії випромінювання. Релятивістський енергетичний підхід до визначення сил осциляторів багатозарядних іонів. Деякі обчислювальні приклади. Теорія збурень для атому у постійному електричному та магнітному полях. Чисельне інтегрування рівняння Шредінгера для атому в електричному полі. Операторна теорія збурень Глушкова-Іванова. Методи розв'язання задач про розповсюдження лазерних імпульсів у різноманітних середовищах. Математична фізика нового класу кооперативних лазерних електрон-гамма-ядерних ефектів у скінчених Фермі-системах (атомних і молекулярних системах). Приклади визначення ймовірностей процесів. Ефект впливу хімічного оточення на параметри бета-розпаду. Основні методи в теорії бета-розпаду і кооперативних електрон-бета-ядерних процесів. Приклади: бета-розпад гелію, тритію та інші. Методи обчислень в теорії кооперативних мюон- гамма-ядерних процесів. Захоплення негативних мюонів атомом гелію. Математичні основи теорії неелектромагнітної (сильної, слабкої) взаємодії. Математична фізика ефектів незбереження парності у важких атомних та ядерних системах. Елементи квантової електродинаміки адронів.	8	3	ПУОП	УО	2	10	ПУОП	УО
	Мат фізика кооперативних квантових ефектів. Математичні основи квантової електродинаміки адронів, мезонів		6		ПМКР	КР	2	7	ПМКР	КР (ПО)
ІЗ1	Індивідуальне завдання 1		-	5	ПІЗ	ВІЗ	X	10	X	X
ІЗ2	Індивідуальне завдання 2		-	5	ПІЗ	ВІЗ	X	10	X	X
КуР1	Курсова (дослідницька) робота КуР1		-	10	ПКуР	ВКуР	X	10		
КуР2	Курсова (дослідницька) робота КуР1		-	10	ПКуР	ВКуР	X	15		
Всього			60	55			15	110		

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

ЗМ-П1. Основні методи розв'язання інтегральних (інтегро-диференціальних) рівнянь. Інтегральні рівняння Фредгольма. Рівняння з виродженими ядрами. Рівняння Вольтера. Визначення функції Гріна звичайного диференціального оператора. Рівняння Гельмгольца і Шредінгера. Стаціонарне та нестационарне рівняння Шредінгера. Рівняння математичної фізики у частинних похідних вищих порядків. Спеціальні функції математичної фізики. Операції з поліномами Чебишева, Ерміта, Лежандра, гіпергеометричними функціями. Рівняння Бесселя, циліндричні, сферичні функції. Закони збереження енергії, кількості руху, моменту кількості руху. Задачі щодо розпадів, розсіювання та зіткнень у класичній системі частинок. Рівняння Гамільтона, Гамільтона-Якобі. Скобки Пуассона. Дія як функція координат. Релятивістська механіка класичних систем. Перетворення Лоренца. 4-D вектори, швидкості. Елементи гідродинаміки класичних систем. Поглиблений розгляд методів рішень хвильового рівняння, рівнянь теплопровідності, дифузії із стохастичними членами, моделювання процесів теплообміну, конвекції, випромінювання, турбулентності, переносу енергії, маси. Основи варіаційного числення. Метод центрального інтегрування.

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.

ЗМ-П2. Математична електродинаміка класичних систем. Рівняння руху заряду в полі. Калібрувальна інваріантність. Система рівнянь Максвелла. Рівняння для потенціалів електромагнітного поля. Плоскі, сферичні хвилі. Електричне поле і закон Кулона. Елементи теорії потенціалу. Об'ємний потенціал і рівняння Пуассона. Дипольний момент системи. Магнітне поле в дипольному наближенні. Потенціали електромагнітного поля. Електричне, магнітне мультіпольне випромінювання. Елементи релятивістської електродинаміки. Релятивістська коваріантність рівнянь електродинаміки. 4-D вектор щільності струму. 4-D форма закону збереження заряду. Коваріантне рівняння електромагнітного поля в потенціалах. Нерелятивістська теорія квантових систем. Приклади точно розв'язуваних задач нерелятивістської квантової механіки. Рух у центральній-симетричному (кулонівському) полі (у сферичних та параболічних координатах). Елементи математичної теорії моменту імпульсу. Математичні основи теорії пружних та непружних зіткнень. Резонансне розсіювання при малих енергіях. Матриця розсіювання при наявності реакцій.

Найвзне 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. Т2. Теория поля.-М: Наука, 1988. – 512С.
5. Glushkov A.V., Khetselius O.Yu., Svinarenko A.A., Buyadzhii V.V., Methods of computational mathematics and mathematical physics, P.1. Lecture's Notes Odessa: TEC, 2015.-180P.
6. 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.
7. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М., Теоретическая физика. Т3. Квантовая механика. Нерелятивистская теория.-М: Наука, 1989. – 768С.
8. Берестецкий В.Б., Лифшиц Е.М., Питаевский Л.П., Теоретическая физика. Т4. Квантовая электродинамика.-М: Наука, 1989. – 728С.
9. Глушков А.В. Релятивистская квантовая теория. Квантовая механика атомных систем.-Одесса: Экология.-2008. –700С.
10. Глушков А.В., Релятивистские и корреляционные эффекты в спектрах атомных систем.-Одесса: Экология.-2006. –450С.

ЗМ-ПЗ. Методи теорії збурень для вироджених та невиражених станів. Методи теорії самоузгодженого поля (Хартрі-Фока, Хартрі-Слетера, Х-метод, метод псевдо-та модельного потенціалу). Елементи теорії Томаса-Фермі та функціонала густини. Теорія розв'язання рівнянь Хартрі-Фоку для електронів в атомах, молекулах, кристалі. Алгебраїчна проблема власних значень для рівнянь Хартрі-Фока. Математичні основи теорії міжелектронних кореляцій. Рівняння Максвелла і плоскі монохроматичні хвилі. Калібрувальна інваріантність. Рівняння руху Гейзенберга. Комутатори польових операторів. Метод вторинного квантування в теорії систем багатьох частинок. Квантування скалярного та спірного полів. Квантування станів релятивістського рівняння Дірака. Релятивістське рівняння Дірака для електрона у зовнішньому полі. Релятивістська багаточастинкова теорія збурень до визначення енергетичних рівнів, констант надтонкої структури. Лембівський зсув та поляризація вакууму. Радіаційні поправки до закону Кулона. Обчислення уявної частини поляризаційного оператора по інтегралу Фейнмана. Радіаційний зсув енергетичних рівнів атомів, мезоатомів, адронних атомів. Рівняння Клейна-Гордона-Фока. Методи теорії збурень. Гамільтоніан взаємодії і уявлення взаємодії. Обчислення матричних елементів процесів розсіювання. Обчислення перетинів і часів життя. Методи обчислення і функцій Гріна. Електронний та фотонний пропагатор. Обчислення функцій Гріна методом теорії збурень. Функція Гріна рівняння Дірака з несингулярним потенціалом та комплексною енергією. Регуляризація інтегралів Фейнмана. Приклади визначення параметрів енергетичних рівнів, надтонкої структури для релятивістських атомних систем на основі КЕД багаточастинкової теорії збурень (атом водню і надважкого Н-подібного іона з $Z = 170$, Li-подібні багатозарядні іони, атоми ^{133}Cs , ^{235}U , ^{201}Hg , ^{227}Ra). Обчислення рівнів енергії, параметри сили осциляторів для деяких релятивістських атомних систем на основі релятивістської (КЕД) теорії збурень багатьох тіл. Деякі ключові елементи релятивістської методу для обчислювальної параметрів релятивістських атомних систем.

Нааявне навчально-методичне забезпечення:

1. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М., Теоретическая физика. Т3. Квантовая механика. Нерелятивистская теория.-М: Наука, 1989. – 768С.
2. Берестецкий В.Б., Лифшиц Е.М., Питаевский Л.П., Теоретическая физика. Т4. Квантовая электродинамика.-М: Наука, 1989. – 728С.
3. Глушков А.В. Релятивистская квантовая теория. Квантовая механика атомных систем.-Одесса: Экология.-2008. –700С.
4. Глушков А.В., Релятивистские и корреляционные эффекты в спектрах атомных систем.-Одесса: Экология.-2006. –450С.
5. Хецелиус О.Ю., Сверхтонкая структура атомных спектров.-Одесса: Астропринт, 2008.-210С.
6. Хецелиус О.Ю., Квантовая структура электрослабого взаимодействия в

- тяжелых конечных Ферми-системах.-Одесса: Экология, 20011.-450С.
7. 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.
 8. 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
 9. Гриб А.А., Мамаев С.Г., Мостепаненко Г.М., Квантовые эффекты в интенсивных внешних полях.-М: Атомиздат, 1980. – 296С.
 10. Глушков А.В. Атом в электромагнитном поле. Численные модели.- Киев: ТНТ, 2006.-450С.

ЗМ-П4. Математичні основи теорії випромінювання та розсіювання світла. Основи математичної теорії спектрів атомів, двохатомних молекул, ядер. Релятивістський енергетичний підхід до визначення сил осциляторів багатозарядних іонів. Деякі обчислювальні приклади. Теорія збурень для атому у постійному електричному та магнітному полях. Чисельне інтегрування рівняння Шредінгера для атому в електричному полі. Операторна теорія збурень Глушкова-Іванова. Методи розв’язання задач про розповсюдження лазерних імпульсів у різноманітних середовищах. Математична фізика нового класу кооперативних лазерних електрон-гамма-ядерних ефектів у скінчених Фермі-системах (атомних і молекулярних системах). Приклади визначення ймовірностей процесів. Електрон-бета-ядерна спектроскопія атомів і молекул. Ефект впливу хімічного оточення на параметри бета-розпаду. Основні методи в теорії бета-розпаду і кооперативних електрон-бета-ядерних процесів. Теоретичні моделі електронного перегрупування, індукованого ядерною трансмутацією. Приклади: бета-розпад гелію, тритію та інші. Методи обчислень в теорії кооперативних мюон- гамма-ядерних процесів. Захоплення негативних мюонів атомом гелію. Математичні основи теорії неелектромагнітної (сильної, слабкої) взаємодії. Математична фізика ефектів незбереження парності у важких атомних та ядерних системах. Елементи квантової електродинаміки адронів. Електромагнітні форм-фактори та мультипольні моменти адронів.

Нааявне навчально-методичне забезпечення:

1. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М., Теоретическая физика. Т3. Квантовая механика. Нерелятивистская теория.-М: Наука, 1989. – 768С.
2. Берестецкий В.Б., Лифшиц Е.М., Питаевский Л.П., Теоретическая физика. Т4. Квантовая электродинамика.-М: Наука, 1989. – 728С.
3. Глушков А.В. Релятивистская квантовая теория. Квантовая механика атомных систем.-Одесса: Экология.-2008. –700С.
4. Глушков А.В., Релятивистские и корреляционные эффекты в спектрах атомных систем.-Одесса: Экология.-2006. –450С.
5. Хецелиус О.Ю., Сверхтонкая структура атомных спектров.-Одесса: Ас-

- тропринт, 2008.-210С.
6. Хецелиус О.Ю., Квантовая структура электрослабого взаимодействия в тяжелых конечных Ферми-системах.-Одесса: Экология, 20011.-450С.
 7. 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.
 8. 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
 9. Гриб А.А., Мамаев С.Г., Мостепаненко Г.М., Квантовые эффекты в интенсивных внешних полях.-М: Атомиздат, 1980. – 296С.
 - 10.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 важливою заліковою одиницею. В рамках дисципліни «Математична фізика класичних та квантових систем» пропонуються наступні види наукової роботи: участь у написанні і підготовці до друку наукових статей та тез доповідей на міжнародних, вітчизняних наукових конференціях; участь у науково-дослідних 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	2	УО	1-3 3	ПЛБ	5	УО	м/сес сесія
ЗБ-Л2	ПЛБ	2	УО	4-6 6	ПЛБ	5	УО	м/сес сесія
ЗБ-П1	ПУОП	3	УО	1-7 8	ПУОП	15	УО	Сесія
ЗБ-Л3	ПЛБ	2	УО	7-10 10	ПЛБ	5	УО	м/сес сесія
ЗБ-І31	ПІЗ	5	ПІЗ1	3-12 12	ПІЗ	10	ПІЗ	Сесія
ЗБ-П2	ПУОП	3	УО	8-13 13	ПУОП	15	УО	Сесія
ЗБ-Л4	ПМКР	1	ПКР	11-15 15	ПЛБ	5	УО	м/сес сесія
ЗБ-КуР1	ПКуР	10	ПКуР	4-14 14	ВКуР	10	ПКуР	Сесія
ЗБ-Л5	ПЛБ	1	УО	1-3 3	ПЛБ	5	УО	м/сес сесія
ЗБ-Л6	ПЛБ	2	УО	4-6 6	ПЛБ	5	УО	м/сес сесія
ЗБ-П3	ПУОП	3	УО	1-7 8	ПУОП	18	УО	Сесія
ЗБ-Л7	ПЛБ	2	УО	7-10 10	ПЛБ	5	УО	м/сес сесія
ЗБ-І32	ПІЗ	5	ПІЗ1	3-12 12	ПІЗ	10	ПІЗ	Сесія
ЗБ-П4	ПУОП	3	УО	8-13 13	ПУОП	17	УО	Сесія
ЗБ-Л8	ПЛБ	2	УО	7-10 10	ПЛБ	5	УО	м/сес сесія
ЗБ-КуР2	ПКуР	10	ПКуР	4-14 14	ВКуР	15	ПКуР	Сесія
ЗБ-Л9	ПМКР	2	ПКР	11-15 15	ПМКР	5	ПКР	м/сес сесія
І (3)		10(7)			ПІ	25(10)		
Разом:		75				275		

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 «Математична фізика класичних та квантових систем» 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:

- Розробка оптимальних методів системного аналізу, математичного моделювання і прогнозування складних систем;
- Метод операторної теорії збурень до розв'язання еволюційних рівнянь типу Шредінгера (Дірака, Клейна-Гордона-Фока) або солітонного типу;
- Фазовий простір солітонних рівнянь і обчислювальна алгебра Каца-Муді;
- Методи аналізу та прогнозування динаміки (еволюції) соціально-економічних систем з елементами хаосу;
- Аналіз моделювання та прогнозування динаміки (еволюції) біологічних, нейробіологічних та «life» систем з елементами хаосу;
- Аналіз та прогнозування динаміки (еволюції) екологічних систем з елементами хаосу;
- Моделювання та діагностика динаміки нелінійних процесів в дисипативних системах.

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:

- Моделювання еволюційної динаміки систем та приладів електроніки у хаотичних режимах;
- Чисельне моделювання хаотичної динаміки нелінійних квантово-інформаційних систем;
- Розробка теоретичних основ нових методів в задачах прикладної математики;
- Розробка нових методів та алгоритмів квантової механіки, геометрії та електродинаміки;
- Функція Гріна рівняння Дірака з комплексною енергією та несингулярним потенціалом;
- s-матричний формалізм в теорії одно-та багато-фотонних резонансів для релятивістських квантових систем;
- Теоретичні основи прецизійної квантово-електродинамічної теорії збурень і обчислення поправок вищих порядків для складних квантових систем;
- Релятивістська калібрувальна-інваріантна теорія радіаційних переходів у спектрах важких скінчених фермі-систем;
- Оптимізовані моделі в релятивістській теорії спектрів адронних систем;
- Нові релятивістські методи обчислення енергетичних та спектральних характеристик автоіонізаційних резонансів в спектрах складних скінчених квантових систем;
- Нові релятивістські методи обчислення енергетичних та спектральних характеристик багатофотонних резонансів в спектрах складних скінчених квантових систем;
- Динаміка важких квантових систем в електромагнітному полі;
- Математичний аналіз, моделювання та прогнозування динаміки нелінійних процесів в складних екологічних системах;
- Математичне моделювання нелінійних процесів в макроекономічних системах.

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 9 лекційних змістовних блоків, формою контролю кожного з них є контрольна робота, усне опитування (КР, УО).

Практична частина дисципліни розбита на 4 практичних змістовних блоки, 2 індивідуальних завдання ІЗ та 2 курсові (дослідницькі) роботи 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 іспиту (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) складається з 10 питань.

Далі наведений перелік питань:

1. Елементи конструктивної математичної фізики класичних систем. Сучасні традиційні та альтернативні класифікації рівнянь з частинними похідними.
2. Основи теорії інтегральних (інтегро-диференціальних) рівнянь. Інтегральні рівняння Фредгольма. Резольвента Фредгольма.
3. Рівняння з виродженими ядрами. Рівняння Вольтера: Поглиблений розгляд.
4. Функція Гріна звичайного диференціального оператора. Аналітичні властивості функції Гріна.
5. Рівняння Гельмгольца і Шредінґеру. Стационарне та нестационарне рівняння Шредінґеру.
6. Спеціальні функції математичної фізики: Класичні ортогональні поліноми, поліноми Чебишева, Ерміта.
7. Спеціальні функції математичної фізики: Елементи теорії гіпергеометричних функцій.
8. Спеціальні функції математичної фізики: Рівняння Бесселя і циліндричні функції.
9. Спеціальні функції математичної фізики: Сферичні функції. Поліноми Лежандра, приєднані поліноми Лежандра.
10. Механіка класичних систем. Принцип найменшої дії. Функція Лагранжа класичної системи матеріальних точок.
11. Закони збереження енергії, кількості руху, моменту кількості руху. Інваріанти в механіці класичних систем.
12. Розпади, розсіювання та зіткнення у класичній системі частинок.
13. Канонічні рівняння. Рівняння Гамільтона, Гамільтона-Якобі. Скобки Пуассона.
14. Релятивістська механіка класичних систем. Перетворення Лоренца. 4-D

- вектори, швидкості.
15. Поглиблений розгляд методів рішень хвильового рівняння, рівнянь теплопровідності.
 16. Поглиблений розгляд методів рішень рівнянь дифузії із стохастичними членами.
 17. Поглиблений розгляд методів моделювання процесів теплообміну, конвекції.
 18. Поглиблений розгляд методів моделювання процесів випромінювання.
 19. Поглиблений розгляд методів моделювання процесів турбулентності.
 20. Поглиблений розгляд методів моделювання процесів переносу енергії, маси.
 21. Математична електродинаміка класичних систем. Електричний заряд і електромагнітне поле. 4-мірний потенціал поля. Рівняння руху заряду в полі.
 22. Калібрувальна інваріантність. Система рівнянь Максвелла. Тензор електромагнітного поля. Рівняння для потенціалів електромагнітного поля.
 23. Елементи теорії потенціалу. Об'ємний потенціал і рівняння Пуассона. Дипольний момент системи. Електричне, магнітне мультипольне випромінювання.
 24. Елементи релятивістської електродинаміки. Релятивістська коваріантність рівнянь електродинаміки. 4-D форма закону збереження заряду. Коваріантне рівняння електромагнітного поля в потенціалах.
 25. Нерелятивістська теорія квантових систем. Рівняння Шредінгера, основні властивості.
 26. Приклади точно розв'язуваних задач нерелятивістської квантової механіки.
 27. Рух у центрально-симетричному (кулонівському) полі (у сферичних та параболічних координатах).
 28. Елементи математичної теорії моменту імпульсу. Власні функції, момент, парність станів.
 29. $3j$, $6j$ -символи. Матричні елементи тензорів.
 30. Математичні основи теорії пружних та непружних зіткнень. Аналітичні властивості амплітуди розсіювання.
 31. Резонансне розсіювання при малих енергіях. Формула Резерфорда. Полюса Редже.
 32. Матриця розсіювання при наявності реакцій. Формули Брейта та Вагнера. Непружні зіткнення електронів з атомами.

Критерії оцінювання письмового іспиту

Білеті (закритого типу) складаються з 10 питань.

Далі наведений перелік питань:

1. Формалізм теорії збурень для вироджених та невиражених станів. Сечулярна теорія збурень.
2. Методи теорії самоузгодженого поля (Хартрі-Фока, Хартрі-Слетера, Х-метод, метод псевдо-та модельного потенціалу).
3. Елементи теорії Томаса-Фермі та функціонала густини.
4. Метод багаточастинкової теорії збурень з Хартрі-Фоківським нульовим наближенням. Елементи Фейнманівської діаграмної техніки.

5. Теорія розв'язання рівнянь Хартрі-Фоку для електронів в атомах, молекулах, кристалі. Алгебраїчна проблема власних значень для рівнянь Хартрі-Фока.
6. Визначення хвильових функцій Хартрі-Фоку електронів. Інтеграли перекриття Матричні елементи операторів кінетичної енергії, електронно-ядерної взаємодії, обмінної взаємодії.
7. Математичні основи теорії міжелектронних кореляцій (ефекти поляризації, екранування, ітерації масового оператора).
8. Оптимізація нульового наближення теорії збурень та чисельна оцінка поправок вищих порядків. Калібрувальні-інваріантні схеми.
9. Квантування електромагнітного поля. Фотони. Рівняння Максвелла і плоскі монохроматичні хвилі.
10. Квантування електромагнітного поля Калібрувальна інваріантність. Правила квантування. Оператори народження та знищення фотона.
11. Рівняння руху Гейзенберга. Момент, парність та спін фотона. Поздовжній і скалярний фотони.
12. Комутатори польових операторів. Нормальне і хронологічне добутки.
13. Метод вторинного квантування в теорії систем багатьох частинок. Квантування скалярного та спірного полів.
14. Наближення Хартрі-Фока та електронно-дірковий формалізм.
15. Квантування станів релятивістського рівняння Дірака. Релятивістське рівняння Дірака для електрона у зовнішньому полі.
16. Квантування квазістаціонарних станів рівняння Дірака для електрона в кулонівському полі. Лоренцева інваріантність рівнянь Дірака.
17. Рух у центрально-симетричному (кулонівському) полі. Система хвильових функцій безперервного спектру для розсіювання в кулонівському полі.
18. Релятивістська багаточастинкова теорія збурень до визначення енергетичних рівнів, констант надтонкої структури.
19. Математичні основи теорії радіаційних поправок. Лембівський зсув та поляризація вакууму. Розбіжності в S-матриці.
20. Радіаційні поправки до закону Кулона. Поляризаційний оператор. Обчислення уявної частини поляризаційного оператора по інтегралу Фейнмана.
21. Електромагнітний форм-фактор електрона та магнітний момент.
22. Радіаційні поправки до розсіювання електрона у зовнішньому полі.
23. Радіаційний зсув енергетичних рівнів атомів, мезоатомів, адронних атомів.
24. Рух спину у зовнішньому полі та розсіювання нейтронів.
25. Рівняння Клейна-Гордона-Фока.
26. Формалізм теорії збурень. Гамільтоніан взаємодії і уявлення взаємодії. Матриці розсіювання. Теореми Віка.

27. Обчислення матричних елементів процесів розсіювання. Графічне представлення процесів розсіювання. Правила Фейнмана. Обчислення перетинів і часів життя.
28. Математичні основи теорії взаємодії електронів та електронів і фотонів. Рівняння Брейта.
29. Теорія іонізаційних втрат. Теорія тормозного випромінювання.
30. Метод еквівалентних фотонів. Елементи теорії народження електрон-позитронних пар.
31. Основи теорії функцій Гріна. Електронний пропагатор.
32. Основи теорії функцій Гріна. Фотонний пропагатор.
33. Функції поширення вільних полів. Спектральне уявлення функцій Гріна скалярного взаємодіючого поля.
34. Спектральне уявлення функцій Гріна взаємодіючого спірного поля.
35. Обчислення функцій Гріна методом теорії збурень.
36. Функція Гріна рівняння Дірака з несингулярним потенціалом та комплексною енергією.
37. Роль функцій Гріна при підсумовуванні матричних елементів діаграм Фейнмана. Вершинні функції.
38. Рівняння Дайсона. Тотожність Уорда.
39. Аналітичні властивості фотонного пропагатора. Регуляризація інтегралів Фейнмана.
40. Математичні основи теорії випромінювання та розсіювання світла.
41. Основи математичної теорії спектрів атомів, двохатомних молекул, ядер.
42. Оператор електромагнітної взаємодії. Електричне та магнітне мультипольне випромінювання.
43. Релятивістська квантова теорія електромагнітного випромінювання.
44. Релятивістський енергетичний підхід до визначення сил осциляторів багатозарядних іонів.
45. Випромінювання атомів: електричний та магнітний тип.
46. Ефекти Штарка та Зеємана.
47. Теорія збурень для атому у постійному електричному та магнітному полях.
48. Чисельне інтегрування рівняння Шредінгера для атому в електричному полі.
49. Операторна теорія збурень Глушкова-Іванова.
50. Теорія квазістаціонарних станів. Математична фізика атомних систем у полі лазерного випромінювання.
51. Методи розв'язання задач про розповсюдження лазерних імпульсів у різноманітних середовищах.
52. Випромінювання двохатомних молекул, ядер.
53. Елементи теорії фотоефекту.
54. Математичні основи теорії розсіювання. Тензор розсіювання. Амплітуда розсіювання. Розкладення по парціальним амплітудам.

55. Математичні основи теорії форма спектральної лінії. Природня ширина спектральних ліній.
56. Математична фізика нового класу кооперативних лазерних електрон-гамма-ядерних ефектів у скінчених Фермі-системах (атомних і молекулярних системах).
57. Релятивістський енергетичний підхід в теорії кооперативних електрон-гамма-ядерних процесів в Фермі-системах.
58. Квантовий підхід до опису електрон- γ -ядерних спектрів дво- та багато-атомних молекул.
59. Релятивістський енергетичний підхід в теорії кооперативних електрон- γ -ядерних процесів типу «ядерне збудження – електронні переходи», NEET, NEEC. Приклади визначення ймовірностей процесів
60. Математична фізика кооперативних квантових процесів за участю елементарних частинок. Електрон-бета-ядерна спектроскопія атомів і молекул. Ефект впливу хімічного оточення на параметри бета-розпаду.
61. Основні методи в теорії бета-розпаду і кооперативних електрон-бета-ядерних процесів.
62. Теоретичні моделі електронного перегрупування, індукованого ядерною трансмутацією. Теорія впливу хімічного навколишнього середовища на параметри бета-розпаду. Приклади: бета-розпад гелію, тритію та інші.
63. Новий квантовий релятивістський підхід в теорії кооперативних мюон-гамма-ядерних процесів: Захоплення негативних мюонів і метастабільна розрядка ядра. Елементи загального формалізму. Захоплення негативних мюонів атомом гелію.
64. Релятивістська теорія розряду метастабільних ядер під час захоплення негативного мюона.
65. Математичні основи теорії неелектромагнітної сильної взаємодії.
66. Теоретичні моделі електрослабкої взаємодії.
67. Математична фізика ефектів незбереження парності у важких атомних та ядерних системах.
68. Елементи теорії квантової структури адронів, мезонів.
69. Елементи квантової електродинаміки адронів.
70. Електромагнітні форм-фактори та мультипольні моменти адронів.
71. Низько-енергетичні теореми для тормозного випромінювання та розсіювання фотона і електрона на адроні.

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

Шкала оцінювання за системою ЄКТАС та національною системою

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

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. 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: 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, 2001.-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 элект-

- ромагнитном 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.

Додаткова література

1. Висоцький В.І., Квантова механіка та її використання у прикладних дослідженнях.-Київ: Вид-во КНУ, 2008.-367С.
2. Глушков А.В., Прогнозирование экологического состояния и безопасности окружающей среды с учетом антропогенных факторов.- Одесса: ТЕС.-2014.-300С.
3. Глушков А.В., Хецелиус О.Ю., Серга И.Н., Шахман А.Н., Квантовая структура сильного взаимодействия в адронных атомах: численные модели.-Одеса: ОГЭКУ, 2015.-300С.
4. Глушков А.В., Хецелиус О.Ю., Свиначенко А.А., Буяджи В.В., Спектроскопия автоионизационных состояний тяжелых атомов и многозарядных ионов: численные модели.-Одеса: ТЕС, 2015.-236С.
5. Glushkov A.V., Svinarenko A.A., Khetselius O.Yu., Buyadzhi V.V., Florko T.A., Shakhman A.N., Relativistic Quantum Chemistry: Advanced Approach to Construction of the Green's Function of the Dirac Equation with Complex Energy and Mean-Field Nuclear Potential// Frontiers in Quantum Methods and Applications in Chemistry and Physics: Series: Progress in Theoretical Chemistry and Physics, Eds. M.Nascimento, J.Marvani, E.Brändas, G.Delgado-Barrio (Springer).-2015-Vol.29.-Ch.12.-P.197-218.
6. Khetselius O.Yu., Optimized perturbation theory to calculating the hyperfine line shift and broadening for heavy atoms in the buffer gas// Frontiers in Quantum Methods and Applications in Chemistry and Physics, Series: Progress in Theoretical Chemistry and Physics, Eds. M.Nascimento, J.Marvani, E.Brändas, G.Delgado-Barrio (Springer).-2015-Vol.29.- Ch.4.-P.54-76.
7. Khetselius O.Yu., Relativistic Many-Body Perturbation Theory Calculation of the Hyperfine Structure and Oscillator Strengths Parameters for Some Heavy Elements Atoms and Ions/ Khetselius O.Yu., Zaichko P.A., Smirnov A.V., Buyadzhi V.V., Ternovsky V.B., Florko T.A.// Quantum Systems in Physics, Chemistry, and Biology. Series: Progress in Theoretical Chemistry and Physics, Eds. A.Tadger, R.Pavlov, J.Marvani, E.Brändas, G.Delgado-Barrio (Springer).-2016-Vol.B30.-P.131-140.
8. 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.Tadger, R.Pavlov, J.Maruani, E.Brändas, G.Delgado-Barrio (Springer).-2016-Vol.B30.-P.141-151.
9. Glushkov A.V., Operator Perturbation Theory for Atomic Systems in a Strong DC Electric Field//Advances in Quantum Methods and Applications in Chemistry, Physics, and Biology. Series: Frontiers in Theoretical Physics and Chemistry, Eds. M.Hotokka, J.Maruani, E. Brändas, G.Delgado-Barrio (Berlin, Springer).-2014.-Vol.27.-Part2.-Chapter9.-P.161-178.
 10. Glushkov A.V., Electrodynamical and quantum chemical modelling electrochemical and catalytic processes on metals, metal alloys and semiconductors: Review/Glushkov A.V., Svinarenko A.A., Dubrovskaya Yu.V., Kvasikova A.S., Kuznetsova A.A., Ponomarenko E.L. // Quantum Systems in Physics, Chemistry, and Biology. Series: Progress in Theoretical Chemistry and Physics, Eds. A.Tadger, R.Pavlov, J.Maruani, E.Brändas, G.Delgado-Barrio (Springer).-2016-Vol.B30.-P.201-209.
 11. Glushkov A.V., Advanced Relativistic Energy Approach to Radiative Decay Processes in Multielectron Atoms and Multicharged Ions// Quantum Systems in Chemistry and Physics: Progress in Methods and Applications. Series: Progress in Theoretical Chemistry and Physics, Eds. K.Nishikawa, J. Maruani, E.Brandas, G. Delgado-Barrio, P.Piecuch (Berlin, Springer).-2013-Vol.26.-P.231-254.
 12. Khetselius O.Yu., Relativistic energy approach to cooperative electron-gamma-nuclear processes: NEET Effect// Quantum Systems in Chemistry and Physics: Progress in Methods and Applications. Series: Progress in Theoretical Chemistry and Physics, Eds. K.Nishikawa, J. Maruani, E.Brandas, G. Delgado-Barrio, P.Piecuch (Berlin, SPRINGER).-2012-Vol.26.-P.217-230.
 13. Glushkov A.V., Khetselius O.Yu., Svinarenko A.A., Relativistic theory of cooperative muon-gamma-nuclear processes: Negative muon capture and metastable nucleus discharge// Advances in the Theory of Quantum Systems in Chemistry and Physics. Series: Progress in Theoretical Chemistry and Physics, Eds. P.Hoggan, E.Brandas, J.Maruani, G. Delgado-Barrio, P.Piecuch (Berlin, Springer).-2011.-Vol.22.-P.51-70.
 14. Glushkov A.V., Khetselius O.Yu., Loboda A.V., Svinarenko A.A., QED approach to atoms in a laser field: Multi-photon resonances and above threshold ionization//Frontiers in Quantum Systems in Chemistry and Physics, Series: Progress in Theoretical Chemistry and Physics; Eds. S.Wilson, P.J.Grout, J. Maruani, G. Delgado-Barrio, P. Piecuch (Berlin, Springer), 2008.-Vol.18.-P.541-558.
 15. Glushkov A.V., Khetselius O.Yu., Malinovskaya S.V., New laser-electron nuclear effects in the nuclear \square transition spectra in atomic and molecular systems//Frontiers in Quantum Systems in Chemistry and Physics, Series: Progress in Theoretical Chemistry and Physics; Eds. S.Wilson, P.J.Grout,

- J. Maruani, G. Delgado-Barrio, P. Piecuch (Berlin, Springer), 2008.-Vol.18.-P.523-540.
16. Glushkov A.V., Khetselius O.Yu., Gurnitskaya E.P., Loboda A.V., Florke T.A., Sukharev D.E., Lovett L., Gauge-invariant QED perturbation theory approach to calculating nuclear electric quadrupole moments, hyperfine structure constants for heavy atoms and ions//Frontiers in Quantum Systems in Chemistry and Physics, Series: Progress in Theoretical Chemistry and Physics; Eds. S.Wilson, P.J.Grout, J. Maruani, G. Delgado-Barrio, P. Piecuch (Berlin, Springer), 2008.-Vol.18.-P.505-522.