

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

<u>Математичні основи квантового комп'ютингу</u>			
(назва навчальної дисципліни)			
<u>113 – Прикладна математика</u>			
(шифр та назва спеціальності)			
<u>Прикладна математика класичних та квантових систем</u>			
(назва освітньої програми)			
<u>Третій</u>			<u>Денна</u>
(рівень вищої освіти)			(форма навчання)
<u>другий</u>	<u>4</u>	<u>5/150</u>	<u>Залік</u>
(рік навчання)	(семестр навчання)	(кількість кредитів ЄКТС/годин)	(форма контролю)
<u>кафедри вищої та прикладної математики</u>			
(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.	30.08.2019 р., № 1	02.09.2019 р.
Глушков О.В., Хецеліус О.Ю., Свинаренко А.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	16
7. Програма блока наукової роботи	22
8. Організація самостійної роботи аспірантів	23
9. Індивідуальні завдання, курсові роботи	24
10. Організація поточного, семестрового та підсумкового контролю знань аспірантів	25
11. Література	27

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 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	
		4	4
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 «Математичні основи квантового комп'ютингу» 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., вивчення сучасного апарату аналізу, моделювання та прогнозування квантової передачі інформації, моделей квантової сенсоріки, розробки апаратного та програмного забезпечення квантових обчислень та власно кажучи, самих квантових комп'ютерів, а також вивчення можливих фізичних реалізацій квантових комп'ютерів, їх застосувань у задачах прикладної квантової математики, криптографії, дослідженнях в галузі штучного інтелекту, квантовій механіці молекул тощо.

Місце дисципліни у структурно-логічній схемі її викладання: отримані знання при вивченні даної дисципліни використовуються при написанні дисертаційних робіт, тематика яких пов'язана із дослідженням властивостей моделей квантової сенсоріки, розробки апаратного та програмного забезпечення квантових обчислень та власно кажучи, самих квантових комп'ютерів, а також вивчення можливих фізичних реалізацій квантових комп'ютерів. Основні поняття дисципліни – це бажаний інструментарій досвідченого фахівця у галузі прикладної математики декотрих класів квантових систем.

Метою вивчення дисципліни є засвоєння (забезпечення) низки компетентностей, зокрема, здатність розробляти нові та удосконалювати існуючі математичні та фізичні моделі квантових обчислень, квантових комп'ютерів, а також вивчення можливих фізичних реалізацій квантових комп'ютерів, їх застосувань у задачах прикладної квантової математики, криптографії, дослідженнях в галузі штучного інтелекту, квантовій механіці молекул тощо.

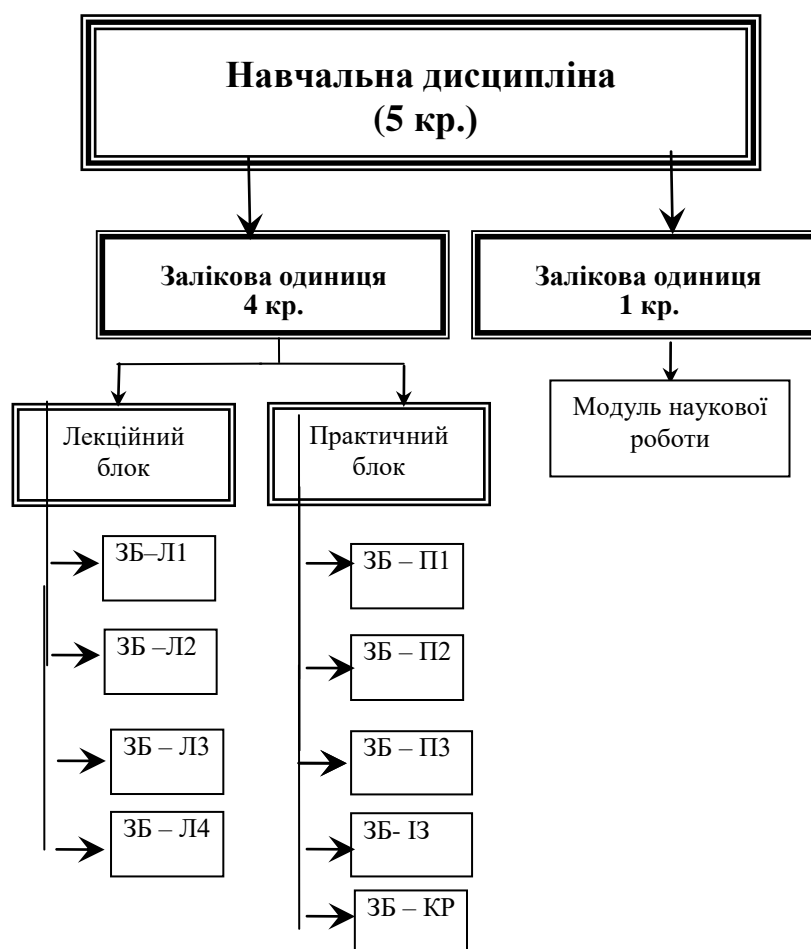
Загальний обсяг навчального часу, що припадає на вивчення дисципліни, становить **150** год. для денної форми навчання та **150** год. для заочної форми навчання.

Після засвоєння цієї дисципліни аспірант повинен уміти удосконалювати існуючі сучасні математичні та фізичні моделі квантових обчислень, будувати нові ефективні моделі, і на їх основі розвивати нові обчислювальні алгоритми можливих фізичних реалізацій квантових комп'ютерів, їх застосувань у задачах прикладної квантової математики, криптографії, в галузі штучного інтелекту, квантовій механіці молекул .

Вивчення дисципліни Математичні та фізичні моделі квантових і нейромереж» проводиться на другому році навчання (4 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	Математичні і фізичні основи квантової інформатики	Основні розділи квантової інформатики: квантовий комп'ютер, квантова криптографія, моделювання квантових систем. Стандартна статистична модель квантової механіки. Оператори в гільбертовому просторі. Оператори щільності. Приклади найпростіших квантових систем: спін-1/2; поляризація фотона, сфера Блоха. Складові квантові системи. Заплутаність. Приховані змінні і несепарабельність квантових станів. Симетрії, кінематика, динаміка квантових систем. Статистика квантовомеханічних вимірювань. Поняття квантових каналів зв'язку. Приклади каналів: Деполяризуючий канал, канал з загасанням фази, канал з загасанням амплітуди. Квантова заплутаність. Несепарабельність EPR-пари. Прихована квантова інформація. Ентропія Шеннона і стиснення інформації. Взаємна інформація. Теорема кодування Шеннона в каналі з шумом. Квантова ентропія фон Неймана. Ентропія і термодинаміка. Приховані змінні і поняття про нерівностях Белла.	5	4	ПЛЗ		2	12	ПЛЗ	
			5	4	ПУОП	УО			ПУОП	УО
					ПЛЗ	УО			ПЛЗ	УО

ЗБ- Л2	Алгебраїчні методи квантової інформатики та квантових обчислень.	Повторення необхідні відомостей з лінійної алгебри. Поняття кубіта. Багато-часткові квантові стану. Поняття квантової запутаності. Квантові перетворення і вимірювання. Запутаність чистих станів. Визначення запутаних станів. Критерій запутаності і його програмна реалізація. Розкладання Шмідта. Скорочена ентропія фон Неймана. Формалізм станів: антисиметрия в формалізмі гільбертова простору, формалізм детермінантів Слейтера, числа заповнення. Зв'язок з алгебраїчними структурами. Симетричні тензори і бозони. Запутаність тотожних частинок. Симплектична базис антисиметричних матриць і розкладання Слейтера. . Змішані квантові стану. Геометрія запутаності змішаних станів.	5	4	ПЛЗ		2	12	ПЛЗ	УО
			5	4	ПУОП				ПУОП	УО
ЗБ- Л3	Елементи Теорії квантових обчислень	Конфігураційний і гільбертов простори станів квантової системи. Дискретне уявлення простору станів. Дискретне уявлення хвильового вектора і комп'ютерне моделювання квантових станів. Види еволюції вектора стану: унітарна динаміка і вимір. Унітарна динаміка. Нерелятивістському наближенню. Рівняння Шредінгера і його рішення для одновимірних і двовимірних потенціалів, одно-та двох ямного потенціалу, для тривимірної частки в центрально-симетричному полі. Відповідність фізичних величин ермітовим операторам. Оператори координат, імпульсу,	8	4	ПЛЗ		3	12	ВЛБ	УО
			5	4	ПУОП	УО	1		ВЛБ	УО

		енергії, моменту імпульсу. Власні значення і допустимі значення фізичної величини. Властивості простору-часу і повний набір спостережуваних. Приклади: класифікація станів електрона в атомі водню. Квантовий комп'ютер і квантове обчислення. Квантові вентилі. Квантові схеми з функціональних елементів. Поняття про квантовий моделюванні систем багатьох частинок. Додатки квантових обчислень: схема телепортації невідомого квантового стану. Заборона на клонування квантових станів.			ПЛЗ	УО				
ЗБ- Л4	Квантовий комп'ютер і моделювання	Моделювання складних квантових систем. Труднощі моделювання квантових систем. Моделювання квантового комп'ютера. Метод динамічного рою. Метод Залки-Візнера. Сіткові методи. Теоретичні та обчислювальні завдання квантового комп'ютингу Квантові алгоритми. Квантова заплутаність. Квантовий метод Моне-Карло. Метод Хартрі-Фока. Квантові гри. Геометрія квантової заплутаності. Заплутаність квантових гейтов. Фізическіє реалізації квантових комп'ютерів (Твердотільні квантові точки на напівпровідниках; Управління через зовнішні потенціали або лазерним імпульсом; Сверхпровідящие елементи, джозефсоновские переходи та інші; Іони в вакуумних пастках Пауля [en] або атоми в оптичних пастках). Змішані технології: використання заздалегідь приготовлених заплутаних станів фотонів для управління атомними ансамблями або як	5	5	ПЛЗ	УО	3	14	ВЛМ	УО
			7	6	ПМКР (ПО)	КР			ПМКР (ПО)	КР (ПКР)

		елементи управління класичними обчислювальними мережами. Оптичні технології: використання генерації квантових станів світла, швидкого і перенастроювати управління цими станами і їх детектування.								
Підготовка до заліку				10				10		
Всього			45	45			10	60		

Після вивчення лекційних змістовних блоків студенти мають оволодіти наступними знаннями.

ЗБ-Л1. Математичні і фізичні основи квантової інформатики. Основні розділи квантової інформатики: квантовий комп'ютер, квантова криптографія, моделювання квантових систем. Стандартна статистична модель квантової механіки. Оператори в гільбертовому просторі. Оператори щільності. Приклади найпростіших квантових систем: спін-1/2; поляризація фотона, сфера Блоха. Складові квантові системи. Заплутаність. Приховані змінні і несепарабельність квантових станів. Симетрії, кінематика, динаміка квантових систем. Статистика квантово-механічних вимірювань. Поняття квантових каналів зв'язку. Приклади каналів: Деполяризуючий канал, канал з загасанням фази, канал з загасанням амплітуди. Квантова заплутаність. Несепарабельність EPR-пари. Прихована квантова інформація. Ентропія Шеннона і стиснення інформації. Взаємна інформація. Теорема кодування Шеннона в каналі з шумом. Квантова ентропія фон Неймана. Ентропія і термодинаміка. Приховані змінні і поняття про нерівностях Белла.

Наявне навчально-методичне забезпечення:

1. Ozhigov Yu. I. Constructive physics. - Izhevsk: RKhD, 2010. -- 424 p.
2. Preskill J. Quantum information and quantum computing. - Izhevsk: RKhD, 2008-2011. - 464 + 312 p.
3. Scott Aaronson. Quantum computing since Democritus = Scott Aaronson. Quantum Computing since Democritus. - М.: Al-pina Non-fiction, 2017. -- 494 p. - ISBN 978-5-91671-751-8.
4. Valiev KA Quantum computers and quantum computing // Phys. - 2005. - Т. 175. - С. 3-39. Ott E. Chaos in dynamical systems/ Ott E.; Cambridge: Cambridge Univ. Press, 2002.- 490p.;
5. Perelomov A.M. Generalized coherent states and their applications - Berlin: Springer, 1986.-320P.
6. G. Brassard, I. Chuang, S. Lloyd, C. Monroe. Quantum computing // PNAS. — 1998. — Vol. 95. — P. 11032—11033.
7. Quantum computer and quantum computing. Chapters ed. V. A. Sadovnichy, Izhevsk: IZhT, 1999. -- 288p.
8. Gutzwiller M. Chaos in Classical and Quantum Mechanics/ Gutzwiller M.-N.-Y.: Springer-Verlag, 1990.-720p.
9. Штохман Х.-Ю. Квантовый хаос М: Физматлит, 2004. – 176С.
10. Glushkov A.V. , Khetselius O.Yu., Kruglyak Yu.A., Ternovsky V.B., Computational Methods in Quantum Geometry and Chaos theory, P.3 Lecture's Notes - Odessa: TEC, 2015.-180P.
11. Kruglyak Yu.A., Glushkov A.V., Prepelitsa G.P., Buyadzhi V.V., Computational Methods in Quantum Geometry and Chaos theory, P. 4. Lecture's Notes - Odessa: TEC, 2015.-180P.

12. Glushkov A.V., Kruglyak Yu.A., Khetselius O.Yu., Buyadzhi V.V., Numerical methods in Quantum Geometry and Chaos theory, Part 1: Theory of many-body systems, Lecture's Notes.- Odessa: OSENU, 2015.-164P.
13. Glushkov A.V., Khetselius O.Yu., Buyadzhi V.V., Serga I.N., Numerical methods in Quantum Geometry and Chaos theory, Part 2: New methods and algorithms, Lecture's Notes- Odessa: OSENU, 2015.- 130P.
14. Glushkov A.V., Khetselius O.Yu., Svinarenko A.A., Chernyakova Yu.G., Fractal Geometry and a Chaos Theory, part 2: New methods and algorithms of Nonlinear Analysis, Lecture's Notes- Odessa: OSENU.- 92P.
15. Глушков А.В. Релятивистская квантовая теория. Квантовая механика атомных систем.-Одесса: Экология.-2008. –700С.

ЗБ-Л2. Алгебраїчні методи квантової інформатики та квантових обчислень. Повторення необхідні відомостей з лінійної алгебри. Поняття кубіта. Багато-часткові квантові стани. Поняття квантової заплутаності. Квантові перетворення і вимірювання. Заплутаність чистих станів. Визначення заплутаних станів. Критерій заплутаності і його програмна реалізація. Розкладання Шмідта. Скорочена ентропія фон Неймана. Формалізм станів: антисиметрія в формалізмі гільбертова простору, формалізм детермінантів Слейтера, числа заповнення. Зв'язок з алгебраїчними структурами. Симетричні тензори і бозони. Заплутаність тотожних частинок. Симплектична базис антисиметричних матриць і розкладання Слейтера. Змішані квантові стани. Геометрія заплутаності змішаних станів.

Наявне навчально-методичне забезпечення:

- 1) Ozhigov Yu. I. Constructive physics. - Izhevsk: RKhD, 2010 .-- 424 p.
- 2) Preskill J. Quantum information and quantum computing. - Izhevsk: RKhD, 2008-2011. - 464 + 312 p.
- 3) Scott Aaronson. Quantum computing since Democritus = Scott Aaronson. Quantum Computing since Democritus. - М .: Al-pina Non-fiction, 2017 .-- 494 p. - ISBN 978-5-91671-751-8.
- 4) Valiev KA Quantum computers and quantum computing // Phys. - 2005. - Т. 175. - S. 3-39. Ott E. Chaos in dynamical systems/ Ott E.; Cambridge: Cambridge Univ. Press, 2002.- 490p.;
- 5) Perelomov A.M. Generalized coherent states and their applicationsю- Berlin: Springer, 1986.-320P.
- 6) G. Brassard, I. Chuang, S. Lloyd, C. Monroe. Quantum computing // PNAS. — 1998. — Vol. 95. — P. 11032—11033.
- 7) Quantum computer and quantum computing. Chapters ed. V. A. Sadovnichy, Izhevsk: IZhT, 1999 .-- 288p.
- 8) Gutzwiller M. Chaos in Classical and Quantum Mechanics/ Gutzwiller M.-N.-Y.:Springer-Verlag, 1990.-720p.
- 9) Штохман Х.-Ю. Квантовый хаос М: Физматлит, 2004. – 176С.

- 10) Glushkov A.V. , Khetselius O.Yu., Kruglyak Yu.A., Ternovsky V.B., Calculational Methods in Quantum Geometry and Chaos theory, P.3 Lecture's Notes - Odessa: TEC, 2015.-180P.
- 11) Kruglyak Yu.A., Glushkov A.V., Prepelitsa G.P., Buyadzhi V.V., Calculational Methods in Quantum Geometry and Chaos theory, P. 4. Lecture's Notes - Odessa: TEC, 2015.-180P.
- 12) Glushkov A.V., Kruglyak Yu.A., Khetselius O.Yu., Buyadzhi V.V., Numerical methods in Quantum Geometry and Chaos theory, Part 1: Theory of many-body systems, Lecture's Notes.- Odessa: OSENU, 2015.-164P.
- 13) Glushkov A.V., Khetselius O.Yu., Buyadzhi V.V., Serga I.N., Numerical methods in Quantum Geometry and Chaos theory, Part 2: New methods and algorithms, Lecture's Notes- Odessa: OSENU, 2015.- 130P.
- 14) Glushkov A.V., Khetselius O.Yu., Svinarenko A.A., Chernyakova Yu.G., Fractal Geometry and a Chaos Theory, part 2: New methods and algorithms of Nonlinear Analysis, Lecture's Notes- Odessa: OSENU.- 92P.
- 15) Глушков А.В. Релятивистская квантовая теория. Квантовая механика атомных систем.-Одесса: Экология.-2008. –700С.

ЗБ-ЛЗ. Теорія квантових обчислень. Конфігураційний і гільбертов простори станів квантової системи. Дискретне уявлення простору станів. Дискретне уявлення хвильового вектора і комп'ютерне моделювання квантових станів. Види еволюції вектора стану: унітарна динаміка і вимір. Унітарна динаміка. Нерелятивістському наближенню. Рівняння Шредінгера і його рішення для одновимірних і двовимірних потенціалів, одно-та двох ямного потенціалу, для тривимірної частки в центрально-симетричному полі. Відповідність фізичних величин ермітовим операторам. Оператори координат, імпульсу, енергії, моменту імпульсу. Власні значення і допустимі значення фізичної величини. Властивості простору-часу і повний набір спостережуваних. Приклади: класифікація станів електрона в атомі водню. Квантовий комп'ютер і квантове обчислення. Квантові вентиля. Квантові схеми з функціональних елементів. Поняття про квантовий моделюванні систем багатьох частинок. Додатки квантових обчислень: схема телепортації невідомого квантового стану. Заборона на клонування квантових станів.

Наявне навчально-методичне забезпечення:

- 1) Ozhigov Yu. I. Constructive physics. - Izhevsk: RKhD, 2010.-- 424 p.
- 2) Preskill J. Quantum information and quantum computing. - Izhevsk: RKhD, 2008-2011. - 464 + 312 p.
- 3) Scott Aaronson. Quantum computing since Democritus = Scott Aaronson. Quantum Computing since Democritus. - М.: Al-pina Non-fiction, 2017.-- 494 p. - ISBN 978-5-91671-751-8.
- 4) Valiev KA Quantum computers and quantum computing // Phys. - 2005. - Т. 175. - S. 3-39. Ott E. Chaos in dynamical systems/ Ott E.; Cambridge:

- Cambridge Univ. Press, 2002.- 490p.;
- 5) Perelomov A.M. Generalized coherent states and their applications. — Berlin: Springer, 1986.-320P.
 - 6) G. Brassard, I. Chuang, S. Lloyd, C. Monroe. Quantum computing // PNAS. — 1998. — Vol. 95. — P. 11032—11033.
 - 7) Quantum computer and quantum computing. Chapters ed. V. A. Sadovnichy, Izhevsk: IZhT, 1999 .-- 288p.
 - 8) Gutzwiller M. Chaos in Classical and Quantum Mechanics/ Gutzwiller M.- N.-Y.:Springer-Verlag, 1990.-720p.
 - 9) Штохман Х.-Ю. Квантовый хаос М: Физматлит, 2004. — 176С.
 - 10) Glushkov A.V. , Khetselius O.Yu., Kruglyak Yu.A., Ternovsky V.B., Computational Methods in Quantum Geometry and Chaos theory, P.3 Lecture's Notes - Odessa: TEC, 2015.-180P.
 - 11) Kruglyak Yu.A., Glushkov A.V., Prepelitsa G.P., Buyadzhi V.V., Computational Methods in Quantum Geometry and Chaos theory, P. 4. Lecture's Notes - Odessa: TEC, 2015.-180P.
 - 12) Glushkov A.V., Kruglyak Yu.A., Khetselius O.Yu., Buyadzhi V.V., Numerical methods in Quantum Geometry and Chaos theory, Part 1: Theory of many-body systems, Lecture's Notes.- Odessa: OSENU, 2015.-164P.
 - 13) Glushkov A.V., Khetselius O.Yu., Buyadzhi V.V., Serga I.N., Numerical methods in Quantum Geometry and Chaos theory, Part 2: New methods and algorithms, Lecture's Notes- Odessa: OSENU, 2015.- 130P.
 - 14) Glushkov A.V., Khetselius O.Yu., Svinarenko A.A., Chernyakova Yu.G., Fractal Geometry and a Chaos Theory, part 2: New methods and algorithms of Nonlinear Analysis, Lecture's Notes- Odessa: OSENU.- 92P.
 - 15) Глушков А.В. Релятивистская квантовая теория. Квантовая механика атомных систем.-Одесса: Экология.-2008. —700С.

ЗБ-Л4 Квантовый комп'ютер і моделювання. Моделювання складних квантових систем. Труднощі моделювання квантових систем. Моделювання квантового комп'ютера. Метод динамічного рою. Метод Залки-Візнера. Сіткові методи. Теоретичні та обчислювальні завдання квантового комп'ютерингу Квантові алгоритми. Квантова заплутаність. Квантовий метод Моне-Карло. Метод Хартрі-Фока. Квантові гри. Геометрія квантової заплутаності. Заплутаність квантових гейтов. Фізическіє реалізації квантових комп'ютерів (Твердотільні квантові точки на напівпровідниках; Управління через зовнішні потенціали або лазерним імпульсом; Сверхпроводящие элементы, джозефсоновские переходы та інші; Іони в вакуумних пастках Пауля [en] або атоми в оптичних пастках). Змішані технології: використання заздалегідь приготовлених заплутаних станів фотонів для управління атомними ансамблями або як елементи управління класичними обчислювальними мережами. Оптичні технології: використання генерації квантових станів світла, швидкого і перенастроювати управління цими станами і їх детектування.

.Нааявне навчально-методичне забезпечення:

1. Ozhigov Yu. I. Constructive physics. - Izhevsk: RKhD, 2010 .-- 424 p.
2. Preskill J. Quantum information and quantum computing. - Izhevsk: RKhD, 2008-2011. - 464 + 312 p.
3. Scott Aaronson. Quantum computing since Democritus = Scott Aaronson. Quantum Computing since Democritus. - М .: Al-pina Non-fiction, 2017 .-- 494 p. - ISBN 978-5-91671-751-8.
4. Valiev KA Quantum computers and quantum computing // Phys. - 2005. - Т. 175. - S. 3-39. Ott E. Chaos in dynamical systems/ Ott E.; Cambridge: Cambridge Univ. Press, 2002.- 490p.;
5. Perelomov A.M.Generalized coherent states and their applicationsю- Berlin: Springer, 1986.-320P.
6. G. Brassard, I. Chuang, S. Lloyd, C. Monroe. Quantum computing // PNAS. — 1998. — Vol. 95. — P. 11032—11033.
7. Quantum computer and quantum computing. Chapters ed. V. A. Sadovnichy, Izhevsk: IZhT, 1999 .-- 288p.
8. Gutzwiller M. Chaos in Classical and Quantum Mechanics/ Gutzwiller M.-N.-Y.:Springer-Verlag, 1990.-720p.
9. Штохман Х.-Ю. Квантовый хаос М: Физматлит, 2004. – 176С.
- 10.Glushkov A.V. , Khetselius O.Yu., Kruglyak Yu.A., Ternovsky V.B., Computational Methods in Quantum Geometry and Chaos theory, P.3 Lecture's Notes - Odessa: TEC, 2015.-180P.
- 11.Kruglyak Yu.A., Glushkov A.V., Prepelitsa G.P., Buyadzhi V.V., Computational Methods in Quantum Geometry and Chaos theory, P. 4. Lecture's Notes - Odessa: TEC, 2015.-180P.
- 12.Glushkov A.V., Kruglyak Yu.A., Khetselius O.Yu., Buyadzhi V.V., Numerical methods in Quantum Geometry and Chaos theory, Part 1: Theory of many-body systems, Lecture's Notes.- Odessa: OSENU, 2015.-164P.
- 13.Glushkov A.V., Khetselius O.Yu., Buyadzhi V.V., Serga I.N., Numerical methods in Quantum Geometry and Chaos theory, Part 2: New methods and algorithms, Lecture's Notes- Odessa: OSENU, 2015.- 130P.
- 14.Glushkov A.V., Khetselius O.Yu., Svinarenko A.A., Chernyakova Yu.G., Fractal Geometry and a Chaos Theory, part 2: New methods and algorithms of Nonlinear Analysis, Lecture's Notes- Odessa: OSENU.- 92P.
- 15.Глушков А.В. Релятивистская квантовая теория. Квантовая механика атомных систем.-Одесса: Экология.-2008. –700С.

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	Математичні і фізичні основи квантової інформатики.. Практичні аспекти	Математичні і фізичні основи квантової інформатики. Набір стандартних статистичних моделей квантової механіки. Робота з операторами в гільбертовому просторі, операторами щільності. Розв'язання найпростіших квантових систем: спіні-1/2; поляризація фотона, сфера Блоха. Характеристика складових квантових систем. Характеристика заплутаності, прихованих змінних і несепабельності квантових станів. Іметриї, кінематика, динаміка квантових систем. Статистика квантово-механічних вимірювань. Характеристика квантових каналів зв'язку. Приклади каналів: Деполяризуючий канал, канал з загасанням фази, канал з загасанням амплітуди. Квантова заплутаність. Прихована квантова інформація. Ентропія Шеннона і стиснення інформації. Взаємна інформація. Теорема кодування Шеннона в каналі з шумом. Квантова ен-	5	5	ПУОП	УО	1	8	ПУОП	УО
			5	ПУОП	УО	1	8	ПУОП	УО	

		тропія фон Неймана. Ентропія і термодинаміка. Приховані змінні і поняття про нерівностях Белла.								
ЗБ- П2	Практичні аспекти квантових обчислень.	Побудова дискретних уявлень простору станів. Дискретне уявлення хвильового вектора і комп'ютерне моделювання квантових станів. Властивості еволюції вектора стану: унітарна динаміка і вимір. Особливості унітарної динаміки. Нерелятивістському наближенню. Рівняння Шредінгера і його рішення для одновимірних і двовимірних потенціалів, одно-та двох ямного потенціалу, для тривимірної частки в центрально-симетричному полі. Відповідність фізичних величин ермітовим операторам. Робота з операторами координат, імпульсу, енергії, моменту імпульсу. Власні значення і допустимі значення фізичної величини. Властивості простору-часу і повний набір спостережуваних. Приклади: класифікація станів електрона в атомі водню. Квантовий комп'ютер і квантове обчислення. Квантові вентиля. Квантові схеми з функціональних елементів. Поняття про квантовий моделюванні систем багатьох частинок. Додатки квантових обчислень: схема телепортації невідомого квантового стану. Заборона на клонування квантових станів.	5	5	ПУОП	УО	2	8	ПУОП	УО
			5		ПУОП	КР	2	8	ПУОПР	УО

ЗБ- ПЗ	Властивості квантового комп'ютеру і методи багаточастинкового моделювання	Властивості квантового комп'ютеру і методи багаточастинкового моделювання. Моделювання складних квантових систем.. Моделювання квантового комп'ютера. Метод динамічного рою. Сіткові методи. Теоретичні та обчислювальні завдання квантового комп'ютерингу Квантові алгоритми. Квантова заплутаність. Квантовий метод Моне-Карло. Метод Хартрі-Фока. Квантові гри. Геометрія квантової заплутаності. Заплутаність квантових гейтов. Фізичні реалізації квантових комп'ютерів: твердотільні квантові точки на напівпровідниках; Управління через зовнішні потенціали або лазерним імпульсом; Надпровідящі елементи, джозефсоновские переходи та інші; Іони в вакуумних пастках Пауля або атоми в оптичних пастках). Змішані технології: використання заздалегідь приготовлених заплутаних станів фотонів для управління атомними ансамблями або як елементи управління класичними обчислювальними мережами. Оптичні технології: використання генерації квантових станів світла, швидкого і перенасроювати управління цими станами і їх детектування.	5	5	ПУОП	УО	2	8	ПУОП	УО
			5		ПМКР	КР	2	10	ПМКР	КР (ПО)
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. Математичні і фізичні основи квантової інформатики. Набір стандартних статистичних моделей квантової механіки. Робота з операторами в гільбертовому просторі, операторами щільності. Розв'язання найпростіших квантових систем: спин-1/2; поляризація фотона, сфера Блоха. Характеристика складових квантових систем. Характеристика заплутаності, прихованих змінних і несепарабельності квантових станів. іметрії, кінематика, динаміка квантових систем. Статистика квантово-механічних вимірювань. Характеристика квантових каналів зв'язку. Приклади каналів: Деполяризуючий канал, канал з загасанням фази, канал з загасанням амплітуди. Квантова заплутаність. Прихована квантова інформація. Ентропія Шеннона і стиснення інформації. Взаємна інформація. Теорема кодування Шеннона в каналі з шумом. Квантова ентропія фон Неймана. Ентропія і термодинаміка. Приховані змінні і поняття про нерівностях Белла.

Наявне навчально-методичне забезпечення:

1. Ozhigov Yu. I. Constructive physics. - Izhevsk: RKhD, 2010.-- 424 p.
2. Preskill J. Quantum information and quantum computing. - Izhevsk: RKhD, 2008-2011. - 464 + 312 p.
3. Scott Aaronson. Quantum computing since Democritus = Scott Aaronson. Quantum Computing since Democritus. - М.: Al-pina Non-fiction, 2017.-- 494 p. - ISBN 978-5-91671-751-8.
4. Valiev KA Quantum computers and quantum computing // Phys. - 2005. - Т. 175. - S. 3-39. Ott E. Chaos in dynamical systems/ Ott E.; Cambridge: Cambridge Univ. Press, 2002.- 490p.;
5. Perelomov A.M. Generalized coherent states and their applications. Berlin: Springer, 1986.-320P.
6. G. Brassard, I. Chuang, S. Lloyd, C. Monroe. Quantum computing // PNAS. — 1998. — Vol. 95. — P. 11032—11033.
7. Quantum computer and quantum computing. Chapters ed. V. A. Sadovnichy, Izhevsk: IZhT, 1999.-- 288p.
8. Gutzwiller M. Chaos in Classical and Quantum Mechanics/ Gutzwiller M.-N.-Y.: Springer-Verlag, 1990.-720p.
9. Штохман Х.-Ю. Квантовый хаос М: Физматлит, 2004. – 176С.
10. Glushkov A.V. , Khetselius O.Yu., Kruglyak Yu.A., Ternovsky V.B., Computational Methods in Quantum Geometry and Chaos theory, P.3 Lecture's Notes - Odessa: TEC, 2015.-180P.
11. Kruglyak Yu.A., Glushkov A.V., Prepelitsa G.P., Buyadzhi V.V., Computational Methods in Quantum Geometry and Chaos theory, P. 4. Lecture's Notes - Odessa: TEC, 2015.-180P.
12. Glushkov A.V., Kruglyak Yu.A., Khetselius O.Yu., Buyadzhi V.V., Numerical methods in Quantum Geometry and Chaos theory, Part 1: Theory of many-body systems, Lecture's Notes.- Odessa: OSENU, 2015.-

164P.

13. Glushkov A.V., Khetselius O.Yu., Buyadzhi V.V., Serga I.N., Numerical methods in Quantum Geometry and Chaos theory, Part 2: New methods and algorithms, Lecture's Notes- Odessa: OSENU, 2015.- 130P.
14. Glushkov A.V., Khetselius O.Yu., Svinarenko A.A., Chernyakova Yu.G., Fractal Geometry and a Chaos Theory, part 2: New methods and algorithms of Nonlinear Analysis, Lecture's Notes- Odessa: OSENU.- 92P.
15. Глушков А.В. Релятивистская квантовая теория. Квантовая механика атомных систем.-Одесса: Экология.-2008. –700С.

ЗБ-П2. Практичні аспекти квантових обчислень. Побудова дискретних уявлень простору станів. Дискретне уявлення хвильового вектора і комп'ютерне моделювання квантових станів. Властивості еволюції вектора стану: унітарна динаміка і вимір. Особливості унітарної динаміки. Нерелятивістському наближенню. Рівняння Шредингера і його рішення для одновимірних і двовимірних потенціалів, одно-та двох ямного потенціалу, для тривимірної частки в центрально-симетричному полі. Відповідність фізичних величин ермітовим операторам. Робота з операторами координат, імпульсу, енергії, моменту імпульсу. Власні значення і допустимі значення фізичної величини. Властивості простору-часу і повний набір спостережуваних. Приклади: класифікація станів електрона в атомі водню. Квантовий комп'ютер і квантове обчислення. Квантові вентиля. Квантові схеми з функціональних елементів. Поняття про квантовий моделюванні систем багатьох частинок. Додатки квантових обчислень: схема телепортації невідомого квантового стану. Заборона на клонування квантових станів.

Найвне навчально-методичне забезпечення:

1. Ozhigov Yu. I. Constructive physics. - Izhevsk: RKhD, 2010.-- 424 p.
2. Preskill J. Quantum information and quantum computing. - Izhevsk: RKhD, 2008-2011. - 464 + 312 p.
3. Scott Aaronson. Quantum computing since Democritus = Scott Aaronson. Quantum Computing since Democritus. - M.: Al-pina Non-fiction, 2017.-- 494 p. - ISBN 978-5-91671-751-8.
4. Valiev KA Quantum computers and quantum computing // Phys. - 2005. - T. 175. - S. 3-39. Ott E. Chaos in dynamical systems/ Ott E.; Cambridge: Cambridge Univ. Press, 2002.- 490p.;
5. Perelomov A.M. Generalized coherent states and their applications. Berlin: Springer, 1986.-320P.
6. G. Brassard, I. Chuang, S. Lloyd, C. Monroe. Quantum computing // PNAS. — 1998. — Vol. 95. — P. 11032—11033.

7. Quantum computer and quantum computing. Chapters ed. V. A. Sadovnichy, Izhevsk: IZhT, 1999 .-- 288p.
8. Gutzwiller M. Chaos in Classical and Quantum Mechanics/ Gutzwiller M.-N.-Y.:Springer-Verlag, 1990.-720p.
9. Штохман Х.-Ю. Квантовый хаос М: Физматлит, 2004. – 176С.
10. Glushkov A.V. , Khetselius O.Yu., Kruglyak Yu.A., Ternovsky V.B., Computational Methods in Quantum Geometry and Chaos theory, P.3 Lecture's Notes - Odessa: TEC, 2015.-180P.
11. Kruglyak Yu.A., Glushkov A.V., Prepelitsa G.P., Buyadzhi V.V., Computational Methods in Quantum Geometry and Chaos theory, P. 4. Lecture's Notes - Odessa: TEC, 2015.-180P.
12. Glushkov A.V., Kruglyak Yu.A., Khetselius O.Yu., Buyadzhi V.V., Numerical methods in Quantum Geometry and Chaos theory, Part 1: Theory of many-body systems, Lecture's Notes.- Odessa: OSENU, 2015.-164P.
13. Glushkov A.V., Khetselius O.Yu., Buyadzhi V.V., Serga I.N., Numerical methods in Quantum Geometry and Chaos theory, Part 2: New methods and algorithms, Lecture's Notes- Odessa: OSENU, 2015.- 130P.
14. Glushkov A.V., Khetselius O.Yu., Svinarenko A.A., Chernyakova Yu.G., Fractal Geometry and a Chaos Theory, part 2: New methods and algorithms of Nonlinear Analysis, Lecture's Notes- Odessa: OSENU.- 92P.
15. Глушков А.В. Релятивистская квантовая теория. Квантовая механика атомных систем.-Одесса: Экология.-2008. –700С.

ЗБ-ПЗ. Властивості квантового комп'ютеру і методи багаточастинкового моделювання. Моделювання складних квантових систем.. Моделювання квантового комп'ютера. Метод динамічного рою. Сіткові методи. Теоретичні та обчислювальні завдання квантового комп'ютерингу Квантові алгоритми. Квантова заплутаність. Квантовий метод Моне-Карло. Метод Хартрі-Фока. Квантові гри. Геометрія квантової заплутаності. Заплутаність квантових гейтов. Фізичні реалізації квантових комп'ютерів: твердотільні квантові точки на напівпровідниках; Управління через зовнішні потенціали або лазерним імпульсом; Надпровідящі елементи, джозефсоновские переходи та інші; Іони в вакуумних пастках Пауля або атоми в оптичних пастках). Змішані технології: використання заздалегідь приготовлених заплутаних станів фотонів для управління атомними ансамблями або як елементи управління класичними обчислювальними мережами. Оптичні технології: використання генерації квантових станів світла, швидкого і перенастроювати управління цими станами і їх детектування.

Наявне навчально-методичне забезпечення:

1. Ozhigov Yu. I. Constructive physics. - Izhevsk: RKhD, 2010 .-- 424 p.
2. Preskill J. Quantum information and quantum computing. - Izhevsk: RKhD, 2008-2011. - 464 + 312 p.
3. Scott Aaronson. Quantum computing since Democritus = Scott Aaronson. Quantum Computing since Democritus. - М .: Al-pina Non-fiction, 2017 .-- 494 p. - ISBN 978-5-91671-751-8.
4. Valiev KA Quantum computers and quantum computing // Phys. - 2005. - Т. 175. - С. 3-39. Ott E. Chaos in dynamical systems/ Ott E.; Cambridge: Cambridge Univ. Press, 2002.- 490p.;
5. Perelomov A.M. Generalized coherent states and their applicationsю- Berlin: Springer, 1986.-320P.
6. G. Brassard, I. Chuang, S. Lloyd, C. Monroe. Quantum computing // PNAS. — 1998. — Vol. 95. — P. 11032—11033.
7. Quantum computer and quantum computing. Chapters ed. V. A. Sadovnichy, Izhevsk: IZhT, 1999 .-- 288p.
8. Gutzwiller M. Chaos in Classical and Quantum Mechanics/ Gutzwiller M.- N.-Y.:Springer-Verlag, 1990.-720p.
9. Штохман Х.-Ю. Квантовый хаос М: Физматлит, 2004. – 176С.
10. Glushkov A.V. , Khetselius O.Yu., Kruglyak Yu.A., Ternovsky V.B., Computational Methods in Quantum Geometry and Chaos theory, P.3 Lecture's Notes - Odessa: TEC, 2015.-180P.
11. Kruglyak Yu.A., Glushkov A.V., Prepelitsa G.P., Buyadzhi V.V., Computational Methods in Quantum Geometry and Chaos theory, P. 4. Lecture's Notes - Odessa: TEC, 2015.-180P.
12. Glushkov A.V., Kruglyak Yu.A., Khetselius O.Yu., Buyadzhi V.V., Numerical methods in Quantum Geometry and Chaos theory, Part 1: Theory of many-body systems, Lecture's Notes.- Odessa: OSENU, 2015.-164P.
13. Glushkov A.V., Khetselius O.Yu., Buyadzhi V.V., Serga I.N., Numerical methods in Quantum Geometry and Chaos theory, Part 2: New methods and algorithms, Lecture's Notes- Odessa: OSENU, 2015.- 130P.
14. Glushkov A.V., Khetselius O.Yu., Svinarenko A.A., Chernyakova Yu.G., Fractal Geometry and a Chaos Theory, part 2: New methods and algorithms of Nonlinear Analysis, Lecture's Notes- Odessa: OSENU.- 92P.
15. Глушков А.В. Релятивистская квантовая теория. Квантовая механика атомных систем.-Одесса: Экология.-2008. –700С.

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	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
І (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 «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:

- Стандартна статистична модель квантової механіки.
- Квантова динаміка найпростіших квантових систем: спін-1/2; поляризація фотона, сфера Блоха.
- Характеристика складових квантові системи.
- Симетрії, кінематика, динаміка квантових систем.
- Статистика квантово-механічних вимірювань.
- Елементи теорії квантових каналів зв'язку.
- Квантова ентропія фон Неймана.
- Ентропія і термодинаміка.
- Елементи теорії прихованих змінних і понять про нерівностях Белла.

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 складних квантових систем.
- Моделювання квантового комп'ютера.
- Теоретичні та обчислювальні завдання квантового комп'ютингу
- Квантові алгоритми. Квантова заплутаність.

- Квантовий метод Монте-Карло.
- Метод Хартрі-Фока.
- Квантові гри.
- Фізичні реалізації квантових комп'ютерів: квантові точки на напівпровідниках;
- використання генерації квантових станів світла, швидкого і перенастроювати управління цими станами і їх детектування.

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

Білеті (закритого типу) складаються з 10 питань.

Далі наведений перелік питань:

1. Статистика квантово-механічних вимірювань. Поняття квантових каналів зв'язку.
2. Приклади каналів: Деполяризуючий канал, канал з загасанням фази, канал з загасанням амплітуди. Квантова заплутаність. Несепарабельність EPR-пари.
3. Прихована квантова інформація. Ентропія Шеннона і стиснення інформації. Взаємна інформація. Теорема кодування Шеннона в каналі з шумом.
4. Квантова ентропія фон Неймана. Ентропія і термодинаміка. Приховані змінні і поняття про нерівностях Белла.
5. Дискретне уявлення хвильового вектора і комп'ютерне моделювання квантових станів.
6. Види еволюції вектора стану: унітарна динаміка і вимір. Унітарна динаміка.
7. Нерелятивістському наближення. Рівняння Шредінгера і його рішення для одновимірних і двовимірних потенціалів, одно-та двох ямного потенціалу, для тривимірної частки в центральній-симетричному полі.

8. Відповідність фізичних величин ермітовим операторам. Оператори координат, імпульсу, енергії, моменту імпульсу. Власні значення і допустимі значення фізичної величини.
9. Класифікація станів електрона в атомі водню. Квантовий комп'ютер і квантове обчислення.
10. Квантові вентиля. Квантові схеми з функціональних елементів. Поняття про квантовий моделюванні систем багатьох частинок.
11. Моделювання квантового комп'ютера.
12. Метод динамічного рою. Сіткові методи.
13. Теоретичні та обчислювальні завдання квантового комп'ютерингу
14. Квантові алгоритми. Квантова заплутаність.
15. Квантовий метод Моне-Карло.
16. Метод Хартрі-Фока.
17. Квантові гри.
18. Геометрія квантової заплутаності.
19. Фізичні реалізації квантових комп'ютерів: Твердотільні квантові точки на напівпровідниках;
20. Фізичні реалізації квантових комп'ютерів: Управління через зовнішні потенціали або лазерним імпульсом;
21. Моделювання систем, що самоорганізуються, рівнянням Шредінгера.
22. Квантові нейронні мережі на квантових точках.

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

16. Ozhigov Yu. I. Constructive physics. - Izhevsk: RKhD, 2010. -- 424 p.
17. Preskill J. Quantum information and quantum computing. - Izhevsk: RKhD, 2008-2011. - 464 + 312 p.
18. Scott Aaronson. Quantum computing since Democritus = Scott Aaronson. Quantum Computing since Democritus. - М.: Al-pina Non-fiction, 2017. -- 494 p. - ISBN 978-5-91671-751-8.
19. Valiev KA Quantum computers and quantum computing // Phys. - 2005. - Т. 175. - S. 3-39. Ott E. Chaos in dynamical systems/ Ott E.; Cambridge: Cambridge Univ. Press, 2002.- 490p.;
20. Gutzwiller M. Chaos in Classical and Quantum Mechanics/ Gutzwiller M.- N.-Y.: Springer-Verlag, 1990.-720p.
21. Штохман Х.-Ю. Квантовый хаос М: Физматлит, 2004. – 176С.
22. Glushkov A.V. , Khetselius O.Yu., Kruglyak Yu.A., Ternovsky V.B., Computational Methods in Quantum Geometry and Chaos theory, P.3 Lecture's Notes - Odessa: TEC, 2015.-180P.
23. Kruglyak Yu.A., Glushkov A.V., Prepelitsa G.P., Buyadzhi V.V., Computational Methods in Quantum Geometry and Chaos theory, P. 4. Lecture's Notes - Odessa: TEC, 2015.-180P.
24. Glushkov A.V., Kruglyak Yu.A., Khetselius O.Yu., Buyadzhi V.V., Numerical methods in Quantum Geometry and Chaos theory, Part 1: Theory of many-body systems, Lecture's Notes.- Odessa: OSENU, 2015.-164P.
25. Glushkov A.V., Khetselius O.Yu., Buyadzhi V.V., Serga I.N., Numerical methods in Quantum Geometry and Chaos theory, Part 2: New methods and algorithms, Lecture's Notes- Odessa: OSENU, 2015.- 130P.
26. Glushkov A.V., Khetselius O.Yu., Svinarenko A.A., Chernyakova Yu.G., Fractal Geometry and a Chaos Theory, part 2: New methods and algorithms of Nonlinear Analysis, Lecture's Notes- Odessa: OSENU.- 92P.
27. Глушков А.В. Релятивистская квантовая теория. Квантовая механика атомных систем.-Одесса: Экология.-2008. –700С.

Додаткова література

1. Wiggins S. Introduction to applied nonlinear dynamical systems and chaos.- New York: Springer-Verlag, 1997.-688 p.
2. Perelomov A.M. Generalized coherent states and their applications - Berlin: Springer, 1986.-320P.
3. G. Brassard, I. Chuang, S. Lloyd, C. Monroe. Quantum computing // PNAS. — 1998. — Vol. 95. — P. 11032—11033.

4. Quantum computer and quantum computing. Chapters ed. V. A. Sadovnichy, Izhevsk: IZhT, 1999 .-- 288p.
5. Kilin S. Ya. Quantum information // Phys. - 1999. - T. 169. - C. 507-527.
6. Valiev KA Quantum computers: can they be made "big"? // Phys. - 1999. - T. 169. - C. 691-694.
7. Valiev KA Quantum computers and quantum computing // Phys. - 2005. - T. 175. - S. 3-39. A. M. Steane, E. G. Rieffel. Beyond Bits: The Future of Quantum Information Processing // IEEE Computer. — January 2000. — P. 38—45.
8. Kilin S.Ya. Quanta and information // Progress in optics. — 2001. — Vol. 42. — P. 1-90.
9. T. D. Ladd, F. Jelezko, R. Laflamme, Y. Nakamura, C. Monroe, J. L. O'Brien. Quantum Computing // Nature. — 2010. — Vol. 464. — P. 45—53.
10. 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.Marvani, E.Brändas, G.Delgado-Barrio (Springer).- 2016.-Vol.B30.-P.141-151.
11. 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.
12. 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.