

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ І.І.МЕЧНИКОВА

Кафедра фізики та астрономії



“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Проректор з науково-педагогічної роботи
Олександр ЗАПОРОЖЧЕНКО
_____ 2022 р.

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

ОК 23 «КВАНТОВА МЕХАНІКА»

Рівень вищої освіти	першій (освітньо-професійний)
Галузь знань	10 – Природничі науки
Спеціальність	104 - Фізика та астрономія
Освітня програма	Фізика та астрономія

ОНУ
2022

Робоча програма навчальної дисципліни «Квантова механіка». – Одеса: ОНУ, 2022. – 10 с.

Розробник: Кулінський Володимир Леонідович, доктор фізико-математичних наук, професор;

Робочу програму затверджено на засіданні кафедри фізики та астрономії ФМФІТ

Протокол № 1 від «5» вересня 2022 р.

Завідувач кафедри



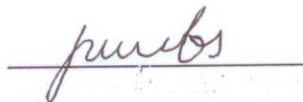
Володимир ГОЦУЛЬСЬКИЙ

Погоджено із гарантом ОПП «Фізика та астрономія»  Юрій НІЦУК

Схвалено навчально-методичною комісією (НМК) факультету математики, фізики та інформаційних технологій

Протокол № 1 від «6» вересня 2022 р.

Голова НМК

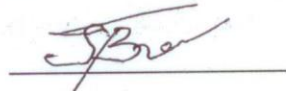


Наталя МАСЛІЄВА

Переглянуто та затверджено на засіданні кафедри фізики та астрономії

Протокол № 1 від «1» 09 2023 р.

Завідувач кафедри

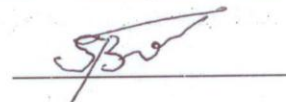


Володимир ГОЦУЛЬСЬКИЙ

Переглянуто та затверджено на засіданні кафедри фізики та астрономії

Протокол № 1 від «29» 08 2024 р.

Завідувач кафедри



Володимир ГОЦУЛЬСЬКИЙ

1. Опис навчальної дисципліни

Найменування показників	Галузь знань, Спеціальність, спеціалізація, рівень вищої освіти	Характеристика навчальної дисципліни
		Очна (денна) форма навчання
Загальна кількість кредитів – 7 годин – 210 змістовних модулів - 2	Галузь знань 10 – Природничі науки Спеціальність: 104 – Фізика та астрономія Рівень вищої освіти: <u>Перший (освітньо-професійний)</u>	Обов'язкова дисципліна
		Рік підготовки:
		3,4-й
		Семестр
		6,7-й
		Лекції
		60 год.
		Практичні, семінарські
		44 год.
		Лабораторні
		0 год.
		Самостійна робота
106 год.		
Форма підсумкового контролю: іспит		

2. Мета та завдання навчальної дисципліни

Метою викладання навчальної дисципліни є: вивчення майбутнім бакалаврами з фізики та астрономії основних положень квантової теорії та методів розв'язок задач; формування навичок аналізу квантових явищ, знайомство студентів з теоретичними основами сучасних нанотехнологій. Засвоєння фундаментальних фізичних складових, отримання практичних навичок, що здобуваються в межах дисципліни «Квантова механіка» є умовою для подальшого ефективного вивчення дисциплін за вибором з циклу професійної підготовки, успішного виконання дипломної роботи.

Завдання:

- засвоєння бакалаврами основних понять та методів квантової теорії

Процес вивчення дисципліни спрямований на формування елементів наступних **компетентностей**:

Інтегральна компетентність: Здатність розв'язувати складні спеціалізовані задачі та практичні проблеми з фізики та/або астрономії у професійній діяльності або у процесі подальшого навчання, що передбачає застосування певних теорій і методів фізики та/або астрономії і характеризується комплексністю та невизначеністю умов.

Загальні компетентності:

- K02. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.
K03. Навички використання інформаційних і комунікаційних технологій.
K04. Здатність бути критичним і самокритичним.
K05. Здатність приймати обґрунтовані рішення.

Спеціальні (фахові) компетентності:

- K16. Знання і розуміння теоретичного та експериментального базису сучасної фізики та астрономії.
K21. Здатність моделювати фізичні системи та астрономічні явища і процеси.
K22. Здатність використовувати базові знання з фізики та астрономії для розуміння будови та поведінки природних і штучних об'єктів, законів існування та еволюції Всесвіту.
K24. Здатність працювати з джерелами навчальної та наукової інформації.
K25. Здатність самостійно навчатися і опановувати нові знання з фізики, астрономії та суміжних галузей.
K26. Розвинуте відчуття особистої відповідальності за достовірність результатів досліджень та дотримання принципів академічної доброчесності разом з професійною гнучкістю.
K27. Усвідомлення професійних етичних аспектів фізичних та астрономічних досліджень.

Заплановані результати навчання: по проходженні курсу студенти будуть *знати*: основні положення нерелятивістської квантової теорії та методи розв'язання типових задач; розуміти принципи застосування фундаментальних законів квантової механіки у сучасних технологіях

вміти: застосовувати принципи квантової теорії для пояснення явищ і оцінки основних фізичних характеристик квантових об'єктів.

розуміти: роль квантової теорії у технологічному прогресі людства, що забезпечує **програмні результати навчання:**

ПР01. Знати, розуміти та вміти застосовувати основні положення загальної та теоретичної фізики, зокрема, класичної, релятивістської та квантової механіки, молекулярної фізики та термодинаміки, електромагнетизму, хвильової та квантової оптики, фізики атома та атомного ядра для встановлення, аналізу, тлумачення, пояснення й класифікації суті та механізмів різноманітних фізичних явищ і процесів для розв'язування складних спеціалізованих задач та практичних проблем з фізики та/або астрономії.

ПР08. Мати базові навички самостійного навчання: вміти відшукувати потрібну інформацію в друкованих та електронних джерелах, аналізувати, систематизувати, розуміти, тлумачити та використовувати її для вирішення наукових і прикладних завдань.

3.Зміст навчальної дисципліни

6 семестр

Змістовий модуль 1. Основи квантової механіки

Тема 1. Хвильові пакети. Співвідношення невизначеності для хвильових пакетів. Дисперсія хвиль де Бройля.

Тема 2. Проекційний постулат. Імовірнісний зміст амплітуд розподілу хвильової функції по плоским хвилям.

Тема 3. Зображення фізичних величин операторами у гільбертовому просторі хвильових функцій.

Тема 4. Операторне формулювання принципу невизначеності. Комутатор операторів.

Тема 5. Зміна квантового стана з часом. Оператор еволюції. Рівняння Шредінгера і Гейзенберга.

Тема 6. Стаціонарні стани частинки у потенціальному полі. Одновимірне розсіяння.

Тема 7. Симетрія і закони збереження. Закон збереження імпульсу. Обертальна симетрія.

Тема 8. Поняття про спіні. Складення орбітального і спінового моментів. Гамільтоніан Паулі.

Тема 9. Лінійний гармонічний осцилятор

Тема 10. Атом водню. Спектр, інтеграли руху та хвильові функції.

Змістовий модуль 2. Наближені методи квантової механіки

7 семестр

Тема 11. Квазікласичне наближення у квантовій механіці. Правила квантування Бора-Зоммерфельда.

Тема 12. Стаціонарна теорія збурень для невиродженого рівня. Поправки 1-го та 2-го порядку до енергетичного рівня та хвильової функції.

Тема 13. Природа ван дер ваальсових сил. Стаціонарна теорія збурень для виродженого рівня. Зникнення виродження у першому порядку. Ефект Штарка у атомі водню і воднеподібних атомах.

Тема 14. Постановка задачі нестационарної теорії збурень. Перше наближення для хвильової функції.

Тема 15. Переходи під дію гармонічного за часом збурення. Ймовірність переходу за одиницю часу. Переходи у стан неперервного спектру. Золоте правило Фермі.

Тема 16. Постановка задачі розсіяння у квантовій механіці. Амплітуда розсіяння та її основні властивості.

Тема 17. Принцип тотожності частинок. Бозони та ферміони. Хвильова функція системи взаємодіючих бозонів, ферміонів. Обмінна взаємодія. Структура багатоелектронних атомів та молекул.

Тема 18. Поглинання та випромінювання світла квантовими системами. Електромагнітне поле у порожнині як система осциляторів.

Тема 19. Формалізм ізотопічного спіна. Алгебра операторів ізоспіна. Ізотопічна інваріантність ядерних сил. Рівні енергії ядер. Квантові числа елементарних частинок.

Тема 20. Елементи релятивістської квантової теорії. Рівняння Дірака та Клейна-Гордона.

3. Структура навчальної дисципліни

Назва тем	Кількість годин				
	Очна денна форма				
	Усього	у тому числі			
Лекц.		Пр.	Лаб.	СР.	
1	2	3	4	5	6
Змістовий модуль 1. Основи квантової механіки					
Тема 1. Хвильові пакети. Співвідношення невизначеності для хвильових пакетів. Дисперсія хвиль де Бройля.	10	4	2		4
Тема 2. Проекційний постулат. Імовірнісний зміст амплітуд розподілу хвильової функції по плоским хвилям.	10	4	2		4
Тема 3. Зображення фізичних величин операторами у гільбертовому просторі хвильових функцій.	6	2	0		4
Тема 4. Операторне формулювання принципу невизначеності. Комутатор операторів.	10	4	2		4
Тема 5. Зміна квантового стану з часом. Оператор еволюції. Рівняння Шредінгера і Гейзенберга.	8	2	2		4
Тема 6. Стаціонарні стани частинки у потенціальному полі. Одновимірне розсіяння.	8	2	2		4
Тема 7. Симетрія і закони збереження. Закон збереження імпульсу. Обертальна симетрія.	12	4	2		6
Тема 8. Поняття про спіні. Складення орбітального і спінового моментів. Гамільтоніан Паулі.	8	2	0		6
Тема 9. Лінійний гармонічний осцилятор	8	2	2		6
Тема 10. Атом водню. Спектр, інтеграли руху та хвильові функції.	14	4	0		8
Змістовий модуль 2. Наближені методи квантової механіки					
Тема 11. Квазікласичне	12	4	4		6

наближення у квантовій механіці. Правила квантування Бора-Зоммерфельда.					
Тема 12. Стаціонарна теорія збурень для неvirодженого рівня. Поправки 1-го та 2-го порядку до енергетичного рівня та хвильової функції.	12	4	4		6
Тема 13. Природа ван дер ваальсових сил. Стаціонарна теорія збурень для virодженого рівня. Зникнення virодження у першому порядку. Ефект Штарка у атомі водню і воднеподібних атомах.	10	2	4		6
Тема 14. Постановка задачі нестационарної теорії збурень. Перше наближення для хвильової функції.	12	4	4		6
Тема 15. Переходи під дію гармонічного за часом збурення. Ймовірність переходу за одиницю часу. Переходи у стан неперервного спектру. Золоте правило Фермі.	10	2	4		6
Тема 16. Постановка задачі розсіяння у квантовій механіці. Амплітуда розсіяння та її основні властивості.	8	2	4		6
Тема 17. Принцип тотожності частинок. Бозони та ферміони. Хвильова функція системи взаємодіючих бозонів, ферміонів. Обмінна взаємодія. Структура багатоелектронних атомів та молекул.	12	4	2		6
Тема 18. Поглинання та випромінювання світла квантовими системами. Електромагнітне поле у порожнині як система осциляторів.	6	2	2		4
Тема 19. Формалізм ізотопічного спіна. Алгебра операторів ізоспіна. Ізотопічна інваріантність ядерних сил. Рівні енергії ядер. Квантові числа елементарних частинок.	8	2	2		4
Тема 20. Елементи релятивістської квантової теорії. Рівняння Дірака та Клейна-Гордона.	10	4	2		6

	210	60	44		106
--	-----	----	----	--	-----

5. Теми семінарських занять

Семінарські заняття не передбачені навчальним планом.

6. Теми лабораторних занять

Лабораторні заняття не передбачені навчальним планом.

7. Теми практичних занять

1. Обчислення середніх від функцій координат та імпульсів
2. Еволюція гаусівського пакета
3. Проекційні оператори в просторі Q-bit
4. Закон збереження ймовірності. Густина струму ймовірності.
5. Розв'язок одновимірних задач на спектр частинки в ямах
6. Алгебра операторів проекцій моменту імпульса. Власні функції
7. Алгебра матриць Паулі. Задачі на правило складання моментів.
8. Власні функції стаціонарних станів осцилятора. Когерентні стани.
9. Алгебра інтегралів руху атома водню.
10. Задачі на застосування метода ВКБ
11. Варіаційний метод. Атом гелію.
12. Наближення Хартрі та Хартрі-Фока
13. Модель Томаса-Фермі.
14. Фотоефект. Індикатриса фотоефекту.
15. Електричне, магнітне дипольне та квадрупольне випромінювання
16. Борнівське наближення в теорії розсіяння.

8. Самостійна робота

№	Назва теми/Питання для підготовки, завдання	Кількість годин
1.	Постулати квантової механіки. Представлення хвильових пакетів у виді сукупності плоских хвиль. Інтерпретація хвиль де Бройля. Принцип суперпозиції.	6
2.	Співвідношення невизначеності для хвильових пакетів. Дисперсія хвиль де Бройля. Еволюція вільного стану	6
3.	Проекційний постулат.. Властивості ортопроектору. Матриця густини.	6
4.	Комутатор операторів. Умова сумісності (одночасного вимірювання) фізичних спостережуваних.	6
5.	Класичні та квантові дужки Пуассона. Правила квантування. Теорема Еренфеста	6
6.	Комутаційні співвідношення між компонентами оператора моменту імпульсу.	6
7.	Складення орбітального і спінового моментів. Повний момент імпульсу.	6
8.	Тунельний ефект у квазікласичному наближенні. Коефіцієнт прозорості бар'єру.	6
9.	Застосування теорії збурень для аналізу атомних спектрів.	6
10.	Золоте правило Фермі в теорії розсіяння. Непружне розсіяння	6
11.	Квантування ЕМП. Спонтанне випромінювання. Лазери.	8

12.	Квантовомеханічне обґрунтування зонної структури кристалічних тіл. Провідники та ізолятори.	8
13.	Група перестановок та її роль у атомній фізиці	6
14.	Групи SU(2) та SU(3) та їх роль у теорії елементарних частинок	8
15.	Квантові ефекти у конденсованих станах. Явища надпровідності та надплинності. Ефект Ааронова-Бома.	8
16.	Багаточастинковий характер релятивістських квантових полів. Пропагатори основних полів (ЕМП, Дірака).	8
	Разом	106

9. Методи навчання

При викладанні дисципліни використовуються інтерактивні методи навчання, наочні методи навчання. Базовим методом навчання є поєднання лекції та практичних занять. Під час проведення лекцій використовуються наступні методи навчання:

пояснювально-ілюстративний метод або інформаційно-рецептивний; метод проблемного викладу; частково-пошуковий, або евристичний метод.

Під час практичних занять використовуються наступні методи навчання частково-пошуковий, або евристичний метод; дискусійний метод. Під час самостійної роботи використовуються наступні методи навчання: дослідницький метод.

10. Форми контролю та методи оцінювання

Поточний контроль здійснюється за результатами виконання 2 модульних контрольних робіт студентів, та підсумкового комп'ютерного тестування.

При оцінюванні в балах рівня засвоєння матеріалу використовуються загальні критерії оцінювання навчальних досягнень здобувачів вищої освіти згідно положення ОНУ ім І.І. Мечникова.

Критерії оцінювання виконання самостійної роботи

Критеріями оцінювання є: повнота виконання завдання, структура і якість відповідей та на додаткові запитання викладача.

Критерії оцінювання контрольних та тестових робіт

Критеріями оцінювання є правильність відповіді на тестові питання, обґрунтування правильних та виправлення помилок в результаті особистого захисту роботи. Кількість балів визначається за сумою правильних відповідей з урахуванням логічних зв'язків між завданнями при комп'ютерній обробці результатів тесту. Оцінюється також дотримання графіку здачі завдань студента в процесі занять.

Кінцева оцінка виставляється за сумою балів поточного та підсумкового контролю за шкалою, що наведена нижче.

Сума балів за всі види навчальної діяльності		Оцінка за національною шкалою	
	Оцінка ЄКТС	для для екзамену, курсового проекту (роботу), практики	для заліку

90 – 100	A	відмінно	зараховано
85-89	B	добре	
75-84	C		
70-74	D	задовільно	
60-69	E		
35-59	FX	незадовільно	не зараховано
1-34	F		

11. Питання для поточного та підсумкового контролю.

Для кожної теми формами контролю навчальних здобутків студентів поточний контроль здійснюється шляхом виконання контрольних по розв'язку задач і заключного теста. Підсумковий семестровий контроль (іспит). Питання поточного контролю публікуються у відповідних [G-class I](https://classroom.google.com/c/NTM1MTY5MTU5Nzha?cjc=bikplxb) (<https://classroom.google.com/c/NTM1MTY5MTU5Nzha?cjc=bikplxb>) [G-class II](https://classroom.google.com/c/MTI4Njk1MTg4MDYw) (<https://classroom.google.com/c/MTI4Njk1MTg4MDYw>) і можуть варіюватись в залежності від рівня аудиторії. [Приклад теста доступний за посиланням](https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSfiGoEEtntL1QTDavWIEWGVF4kM6nOWRD-tt2dQFTMa7L45Q/viewform)

(<https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSfiGoEEtntL1QTDavWIEWGVF4kM6nOWRD-tt2dQFTMa7L45Q/viewform>)

Підсумкові бали для оцінки знань студентів розраховуються таким чином:

12. Розподіл балів, які отримують здобувачі

Поточний контроль, самостійна робота, індивідуальні завдання					Підсумковий контроль(іспит)	Сума балів
Змістовий модуль 1 Поточний контроль на лекціях та практичних	Модульна контрольна робота	Практичні завдання	Самостійна робота	Резом		
T1-T10						
1-10	30	30	30	100		100
Змістовий модуль 2 Поточний контроль на лекціях та практичних						
T11-T20						
1-10	20	20	20	70	30	100

13. Навчально-методичне забезпечення

Навчально-методичне забезпечення: робоча програма навчальної дисципліни та сила бус <https://onu.edu.ua/uk/structure/faculty/fmfit/dystsyplyny>, конспекти лекцій; презентації; відео-лекції; методичні вказівки до практичних занять.

14. Рекомендована література

Основна

1. Вакарчук І.О. Квантова механіка, ЛДУ, Львів 1998, 879с.
2. Юхновський І.Р., Квантова механіка, К. Либідь 1995, 392с.
3. Висоцький В.І., Квантова механіка та її використання у прикладній фізиці, КНУ 2008, 367с.
4. Бродин О.М. Теоретична фізика. Квантова механіка, К. КПІ, 2022, 233с.
5. Давидов О.С. Квантова механіка, К.Академперіодика, 2012, 708с.

Додаткова

1. Landau L.D., Lifshitz E.M. Quantum Mechanics: Non-relativistic theory, Pergamon Press 2013. <http://surl.li/fngch>
2. [Кулінський В.Л. Курс лекцій з Квантової Механіки для студентів відділення фізика та астрономія](https://drive.google.com/drive/folders/0BzX-VEgOwDJ9NVRIQ2dNZ000NVU?resourcekey=0-VDzWomqHEuaUgdGT2_c3w)
https://drive.google.com/drive/folders/0BzX-VEgOwDJ9NVRIQ2dNZ000NVU?resourcekey=0-VDzWomqHEuaUgdGT2_c3w
3. Dirac P.A., Principles of Quantum Mechanics, OUP

15. Електронні інформаційні ресурси

1. <http://iht.univ.kiev.ua/Kolezhuk/SelChapPhys/Tang.pdf>
2. <https://ocw.mit.edu/courses/physics/8-04-quantum-physics-i-spring-2016/video-lectures>
3. <https://ocw.mit.edu/courses/physics/8-04-quantum-physics-i-spring-2016/video-lectures/>
4. lib.onu.edu.ua