

Уманський державний педагогічний університет імені Павла Тичини
Факультет фізики, математики та інформатики
Кафедра фізики та інтегративних технологій навчання природничих наук

“ЗАТВЕРДЖУЮ”
Завідувач кафедри

_____ Мартинюк М. Т.

“__” серпня 2024 року

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

ОК 25. Теоретична фізика (Квантова механіка)

Галузь знань 01 Освіта

Спеціальність 014 Середня освіта

Предметна спеціальність 014.08 Середня освіта (Фізика та астрономія)

Освітня програма Середня освіта (Фізика. Інформатика) першого (бакалаврського) рівня вищої освіти

Робоча програма з навчальної дисципліни “Теоретична фізика (Квантова механіка)” для здобувачів вищої освіти освітньої програми Середня освіта (Фізика. Інформатика) спеціальності 014.08 Середня освіта (Фізика та астрономія)

Розробники: Дудик М.В., професор кафедри фізики та інтегративних технологій навчання природничих наук, канд. фіз.-мат. наук, доцент

_____ Михайло ДУДИК

Робочу програму погоджено.

Гарант освітньої програми «Середня освіта (Фізика. Інформатика)»

_____ Сергій ТЕРЕЩУК

Робочу програму схвалено на засіданні кафедри фізики та інтегративних технологій навчання природничих наук

Протокол № 1 від “ ” серпня 2024 року

Завідувач кафедри фізики та інтегративних технологій навчання
природничих наук

_____ Михайло МАРТИНЮК

Робочу програму розглянуто та затверджено на засіданні науково-методичної комісії факультету фізики, математики та інформатики

Протокол №1 від “ ” серпня 2024 року

Голова науково-методичної комісії факультету фізики, математики та інформатики

_____ Ірина ТЯГАЙ

1. Опис навчальної дисципліни

Найменування показників	Характеристика дисципліни за формами навчання	
	очна (денна)	заочна
Вид дисципліни (обов'язкова чи вибіркова)	обов'язкова	обов'язкова
Мова викладання, навчання та оцінювання	українська	українська
Загальний обсяг у кредитах ЄКТС / годинах	4 / 120	4 / 120
Курс	4	4
Семестр	7	7
Кількість змістових модулів:	4	4
Обсяг кредитів із розподілом за семестрами	4	4
Обсяг годин, у тому числі:	120	120
Аудиторні:	60	16
Лекційні:	36	4(н)+6
Практичні:	24	6
Лабораторні:	0	0
Самостійна робота	50	94
Індивідуальні завдання:	10	10
Форма семестрового контролю:	екзамен	екзамен

2. Мета та завдання навчальної дисципліни

Мета: вивчення студентами основ квантової механіки, її теоретичних й розрахункових методів та їх застосування до розв'язання широкого спектру фізичних задач. Основна увага приділяється з'ясуванню фізичного змісту понять квантової механіки й практичному опануванню розрахункових методів, а також формуванню уявлень про квантовомеханічні закономірності, покладені в основу сучасної фізики та її фундаментальних застосувань.

Завдання дисципліни "Теоретична фізика (Квантова механіка)" полягає у засвоєнні студентами основних понять і методів квантової механіки та формуванню вмінь їх практично застосовувати. У результаті вивчення дисципліни студент повинен мати тверді теоретичні знання та вміти використовувати їх при вирішенні конкретних задач.

3. Компетентності та результати навчання за освітньою програмою

Компетентності:

ІК. Здатність особи вирішувати складні спеціалізовані задачі та практичні проблеми у певній галузі професійної діяльності або у процесі навчання, що передбачає застосування певних теорій та методів відповідних наук і характеризується комплексністю та невизначеністю умов.

Результати навчання:

ПРН 14. Аналізує фізичні явища і процеси на основі фізичних законів, теорій, принципів, із застосуванням відповідних математичних методів.

ПРН 9. Знає і розуміє математичні методи фізики та розділів математики, що є основою вивчення курсів загальної та теоретичної фізики.

ПРН 29. Демонструє знання та розуміння основ загальної та теоретичної фізики.

4. Програма навчальної дисципліни

Змістовий модуль 1. Основи квантової механіки

Тема 1. Вихідні положення квантової механіки.

Експериментальні передумови виникнення квантової механіки. Корпускулярно-хвильовий дуалізм. Гіпотеза де Бройля. Хвильова функція і її фізичний зміст. Принцип суперпозиції. Власні стани квантово-механічної системи. Математичний апарат квантової механіки.

Тема 2. Рівняння Шредингера. Закони збереження у квантовій механіці.

Постулати квантової механіки. Стаціонарне рівняння Шредінгера. Нестационарне рівняння Шредінгера. Закон збереження числа частинок. Зміна з часом середніх значень фізичних величин. Закони збереження фізичних величин в квантовій механіці. Дзеркальна симетрія і закон збереження парності.

Тема 3. Зв'язок квантової механіки з класичною механікою.

Рівняння руху в квантовій механіці. Теореми Еренфеста. Граничний перехід до класичної механіки. Квазікласичне наближення.

Тема 4. Принцип невизначеностей Гейзенберга.

Метод Вентцеля – Крамерса – Бріллюена. Умови квантування Бора – Зомерфельда. Умови одночасної вимірюваності фізичних величин. Співвідношення невизначеностей Гейзенберга. Наслідки співвідношення невизначеностей. Роль вимірювального пристрою. Співвідношення невизначеностей для енергії і часу. Принцип доповнюваності Н.Бора.

Тема 5. Поступальний і орбітальний рух частинки у квантовій механіці.

Необмежений рух вільної частинки. Обмежений рух частинки: потенціальна яма. Орбітальний рух частинок. Квантування орбітального моменту.

Тема 6. Спін елементарних частинок

Спін елементарних частинок. Оператори спіну. Системи тотожних частинок. Принцип Паулі.

Змістовий модуль 2. Квантово-механічна теорія атома

Тема 7. Квантовомеханічна теорія воднеподібних атомів

Загальна характеристика атомів. Теорія воднеподібних атомів. Спектр та просторова структура атома водню.

Тема 8. Квантовомеханічна теорія складних атомів

Рух валентного електрона в атомах лужних металів. Квантово-механічний стан електрона з урахуванням спіну. Атом гелію. Варіаційний принцип.

Тема 9. Періодична система хімічних елементів

Метод самоузгодженого поля (Метод Хартрі-Фока). Статистична модель атома. Періодична система елементів Менделєєва.

Тема 10. Теорія збурень

Теорія збурень для стаціонарних станів з дискретним спектром. Теорія збурень при наявності виродження. Теорія нестационарних збурень.

Тема 11. Атом у зовнішніх полях

Атом в електричному полі. Ефект Штарка. Атом в магнітному полі. Ефект Зеемана. Мультиплетна структура спектрів.

Тема 12. Взаємодія атомів з електромагнітними хвилями

Взаємодія атомів з електромагнітними хвилями. Випромінювання і поглинання світла атомами. Час життя і природна ширина рівнів енергії. Оптичний квантовий генератор

Змістовий модуль 3. Квантова теорія молекул і твердого тіла

Тема 13. Квантова теорія молекул

Загальна характеристика молекул. Адіабатичне наближення в теорії молекул. Молекула водню. Ковалентний зв'язок. Гетерополярний зв'язок.

Тема 14. Енергетичний спектр молекул

Сили Ван-дер-Ваальса. Класифікація електронних термів молекул. Енергетичний спектр ядерної підсистеми молекул. Багатоатомні молекули.

Тема 15. Елементи квантової теорії твердого тіла

Рух електрона у періодичному полі. Функції Блоха. Квазіімпульс електрона у періодичному полі кристалу. Зонна структура енергетичного спектра електрона у періодичному полі кристалу. Задача Кроніга і Пенні.

Змістовий модуль 4. Релятивістська квантова теорія

Тема 16. Основні положення квантової теорії поля

Теорія відносності і квантова механіка. Рівняння Клейна – Гордона – Фока. Частинки і античастинки в теорії Клейна – Гордона – Фока. Рівняння Дірака. Частинки і античастинки в теорії Дірака.

Тема 17. Елементи квантової електродинаміки

Об'єднання електродинаміки з квантовою механікою. Вакуумний стан. Вторинне квантування у системах бозонів і ферміонів. Діаграми Фейнмана. Поляризація вакууму. Деякі ефекти квантової електродинаміки.

Тема 18. Теорія електрослабкої взаємодії

Теорії слабкої взаємодії. Локальна калібровочна інваріантність. Спонтанне порушення симетрії. Модель Вейнберга-Салама. Обмеженість фізичних теорій.

5. Структура навчальної дисципліни

Назви змістових модулів і тем	Кількість годин											
	очні (денна) форма						заочна форма					
	усього	у тому числі					усього	у тому числі				
		л	п	лаб.	інд.	с.р.		л	п	лаб.	інд.	с.р.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Змістовий модуль 1. Основи квантової механіки												
Тема 1. Вихідні положення квантової механіки.	7	2	2			3	6	0,5	0,5			5
Тема 2. Рівняння Шредінгера. Закони збереження у квантовій механіці.	5	2				3	5,5	0,5				5
Тема 3. Зв'язок квантової механіки з класичною механікою	7	2	2			3	6	0,5	0,5			5
Тема 4. Принцип невизначеностей Гейзенберга	7	2	2			3	6	0,5	0,5			5
Тема 5. Поступальний і орбітальний рух частинки у квантовій механіці	16	2	8			6	17	0,5	1,5			15
Тема 6. Спін елементарних частинок	4	2				2	5,5	0,5				5
Разом за змістовим модулем 1	46	12	14			20	46	3	3			40
Змістовий модуль 2. Квантово-механічна теорія атома												
Тема 7. Квантовомеханічна теорія воднеподібних атомів	3	2				1	5	0,5				4,5
Тема 8. Квантовомеханічна теорія складних атомів	3	2				1	5	0,5				4,5
Тема 9. Періодична система хімічних елементів	7	2	2			3	6	0,5	0,5			5
Тема 10. Теорія збурень	7	2	2			3	6	0,5	0,5			5
Тема 11. Атом у зовнішніх полях	7	2	2			3	6	0,5	0,5			5
Тема 12. Взаємодія атомів з електромагнітними хвилями	7	2	2			3	6	0,5	0,5			5
Разом за змістовим модулем 2	34	12	8			14	34	3	2			29
Змістовий модуль 3. Квантова теорія молекул і твердого тіла												
Тема 13. Квантова теорія молекул	4	2				2	5	0,5				4,5
Тема 14. Енергетичний спектр молекул	8	2	2			4	6	0,5	1			4,5
Тема 15. Елементи квантової теорії твердого тіла	4	2				2	5	1				4

Разом за змістовим модулем 3	16	6	2			8	16	2	1			13
Змістовий модуль 4. Релятивістська квантова теорія												
Тема 16. Основні положення квантової теорії поля	6	2				4	5	1				4
Тема 17. Елементи квантової електродинаміки	4	2				2	4,5	0,5				4
Тема 18. Теорія електрослабкої взаємодії	4	2				2	4,5	0,5				4
Разом за змістовим модулем 4	14	6				8	14	2				12
ІНДЗ	10					10	10					10
Усього годин	120	36	24			60	120	10	6			104

6. Теми практичних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин	
		очна (денна) форма	заочна форма
1.	Фізичні передумови квантової механіки. Математичний апарат квантової механіки	2	0,5
2.	Потенціальна яма	2	0,5
3.	Квантовий гармонічний осцилятор	2	0,5
4.	Співвідношення невизначеностей Гейзенберга	2	0,5
5.	Тунельний ефект	2	0,5
6.	Квазікласичне наближення	2	0,5
7.	Момент імпульсу в квантовій механіці	2	0,5
8.	Варіаційний метод Рітца	2	0,5
9.	Теорія збурень	2	0,5
10.	Атом у зовнішніх полях	2	0,5
11.	Квантова теорія випромінювання	2	0,5
12.	Двохатомні молекули	2	0,5

7. Самостійна робота

Самостійна робота студента передбачає виконання студентом запланованих завдань під методичним керівництвом викладача, але без його безпосередньої участі. Метою самостійної роботи є засвоєння навчальної програми в повному обсязі та послідовне формування у студентів самостійності як риси характеру, що відіграє суттєву роль у формуванні сучасного фахівця вищої кваліфікації.

Основними формами самостійної роботи студента під час вивчення дисципліни є такі:

- опрацювання теоретичних основ прослуханого лекційного матеріалу;
- вивчення окремих тем або питань, що передбачені для самостійного опрацювання;
- підготовка до практичних занять та виконання індивідуальних домашніх робіт;
- виконання індивідуального науково-дослідного завдання;
- систематика вивченого матеріалу курсу перед написанням модульних контрольних робіт та підготовка до підсумкового контролю.

№ з/п	Зміст навчального матеріалу	Кількість годин	
		очна(денна) форма	заочна форма
1.	Тема 1. Вихідні положення квантової механіки.	3	5
2.	Тема 2. Рівняння Шредінгера. Закони збереження у квантовій механіці.	3	5

3.	Тема 3. Зв'язок квантової механіки з класичною механікою	3	5
4.	Тема 4. Принцип невизначеностей Гейзенберга	3	5
5.	Тема 5. Поступальний і орбітальний рухи частинки у квантовій механіці	6	15
6.	Тема 6. Спін елементарних частинок	2	5
7.	Тема 7. Квантовомеханічна теорія воднеподібних атомів	1	4,5
8.	Тема 8. Квантовомеханічна теорія складних атомів	1	4,5
9.	Тема 9. Періодична система хімічних елементів	3	5
10.	Тема 10. Теорія збурень	3	5
11.	Тема 11. Атом у зовнішніх полях	3	5
12.	Тема 12. Взаємодія атомів з електромагнітними хвилями	3	5
13.	Тема 13. Квантова теорія молекул	2	4,5
14.	Тема 14. Енергетичний спектр молекул	4	4,5
15.	Тема 15. Елементи квантової теорії твердого тіла	2	4
16.	Тема 16. Основні положення квантової теорії поля	2	4
17.	Тема 17. Елементи квантової електродинаміки	4	4
18.	Тема 18. Теорія електрослабкої взаємодії	2	4
19.	Виконання індивідуального навчального завдання	10	10
Разом		60	104

8. Індивідуальні завдання

Індивідуальне науково-дослідне завдання (ІНДЗ) стосується питань квантової механіки, які не ввійшли до лекційного курсу дисципліни і виконується студентом у формі реферату за запропонованими нижче темами або наукового дослідження з підготовкою доповіді на науковій студентській конференції та/або публікацією тез доповіді (статті) у науковому збірнику.

Оцінка ІНДЗ в балах шкали ECTS враховує повноту і науковість розкриття теми, наявність та відповідність посилань на літературні джерела, орфографію і грамотність тексту, якість оформлення. Максимальна оцінка за ІНДЗ складає 10 балів шкали ECTS.

Теми індивідуального науково-дослідного завдання

- 1) Історія створення квантової теорії
- 2) Модель атома Резерфорда і Бора
- 3) Представлення Шредінгера і представлення Гейзенберга
- 4) Історія спору Н.Бора і А.Ейнштейна по основам квантової механіки
- 5) Метод операторів народження і знищення у задачі про гармонічний осцилятор.
- 6) Квантова механіка та інтеграли за траєкторіями
- 7) Варіаційний принцип у квантовій механіці
- 8) Квантова теорія фотоефекту
- 9) Квантові переходи під дією раптових збурень
- 10) Принципи роботи оптичних квантових генераторів
- 11) Від'ємний іон водню H^-
- 12) Метод Хартрі-Фока
- 13) Метод Томаса-Фермі
- 14) Ядерний квадрупольний резонанс
- 15) Розсіяння нейтронів у конденсованих полях
- 16) Квантова теорія дисперсії світла
- 17) Молекулярний іон водню H_2^+
- 18) Теорія дейтрона
- 19) Розсіяння електронів на атомі
- 20) Метод парціальних хвиль у теорії розсіяння
- 21) Теорія непружного розсіяння
- 22) Квантування вільного електромагнітного поля
- 23) Ефект Казимира
- 24) Квантова теорія електричного дипольного випромінювання
- 25) Рівняння Паулі

- 26) Квазірелятивістське наближення рівняння Дірака.
 27) Атом водню з урахування релятивістських поправок

9. Методи навчання

З метою формування професійних компетенцій широко впроваджуються як традиційні, так і інноваційні методи навчання, що забезпечують комплексне оновлення традиційного педагогічного процесу. Це такі методи, як:

- словесний метод (лекція, евристична бесіда);
- практичний метод (практичні заняття);
- робота з навчально-методичною літературою (конспектування, складання реферату);
- інтерактивний метод (робота в малих групах);
- новітні інформаційні методи у поєднанні з комп'ютерними засобами навчання (дистанційні, мультимедійні тощо).

10. Методи контролю

- 1) Поточне оцінювання розв'язування задач на практичному занятті;
- 2) підсумковий модульний тестовий контроль;
- 3) оцінка за індивідуальні домашні завдання;
- 4) оцінка за індивідуальне науково-дослідне завдання;
- 5) підсумковий контроль.

11. Критерії оцінювання результатів навчання

Модульний контроль (МК) здійснюється засобами Інформаційно-освітнього середовища для студентів очної та заочної (дистанційної) форм навчання УДПУ Moodle (ІОСдСОтЗФН) шляхом складання комп'ютерних тестів. Максимальна оцінка з кожного тесту складає 10 балів.

Індивідуальна робота студентів полягає у домашньому розв'язанні задач з квантової механіки за варіантами. Кожна задача оцінюється за 2-бальною системою:

- 2 б.** – вірний розв'язок з поясненням, точними ілюстраціями, без похибок;
1,5 б. – вірний розв'язок, у якому допущені несуттєві похибки;
1 б. – вірний в цілому розв'язок, який містить грубі похибки;
0,5 б. – розв'язок невірний, але містить вірні вихідні рівняння до розв'язання.
0 б. - розв'язок невірний або відсутній.

Індивідуальне навчальне дослідження (ІНДЗ) виконується за запропонованими у п. 8 темами і стосується питань квантової механіки, які не ввійшли до лекційного курсу дисципліни. Результати дослідження подаються студентом у формі реферату і оцінюються за 10-бальною шкалою, яка враховує науковість, повноту розкриття теми, наявність посилань на першоджерела, у тому в числі в тексті, логічність і послідовність викладення матеріалу, наявність вступу і висновків, грамотність, якість оформлення.

Підсумковий контроль проводиться у формі усного екзамену за білетами або комп'ютерного тестування засобами ІОСдСОтЗФН УДПУ.

12. Розподіл балів, які отримують здобувачі освіти

Поточне тестування і самостійна робота															ІНДЗ	Під-сумк. конт- роль	Су-ма
Змістовий модуль 1							Змістовий модуль 2					ЗМ3		ЗМ4			
Т 1	Т 2	Т 3	Т 4	Т 5	Т 6	Т 7	МК 1	Т 8	Т 9	Т 10	Т 11	МК 2	Т 12	МК 3	МК 4		
4	2	2	2	2	2	2	10	4	4	2	2	10	2	10	10	10	100

Т п - тема п-го практичного заняття; МК п – модульний контроль з п-го змістового модуля

Загальна кількість балів, накопичених студентом, подається за 100-бальною шкалою. У

екзаменаційній відомості результати навчання проставляються за двома шкалами - 100-бальною та національною. Позитивні оцінки виставляються тільки тим студентам, які виконали всі види навчальної роботи, передбачені робочою програмою навчальної дисципліни, і набрали за результатами поточного і підсумкового контролів не менше 60 балів. Конвертація 100-бальної шкали у 4-х бальну здійснюється за наступною таблицею:

Шкала оцінювання: національна та ЄКТС

Сума балів за всі види навчальної діяльності	Оцінка в ЄКТС	Оцінка за національною шкалою	
		для екзамену, курсової роботи, практики	для заліку
90–100	A	відмінно	зараховано
82–89	B	добре	
75–81	C		
69–74	D	задовільно	
60–68	E		
35–59	FX	незадовільно з можливістю повторного складання	не зараховано з можливістю повторного складання
1–34	F	незадовільно з обов’язковим повторним вивченням дисципліни	не зараховано з обов’язковим повторним вивченням дисципліни

13. Рекомендована література

Основна

1. Бродин О. М. Теоретична фізика. Квантова механіка [Електронний ресурс] : навч. посіб. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. 233 с.
2. Вакарчук І.О. Квантова механіка. Підручник, 4-те видання. Львів: Видавничий центр ЛНУ ім. І. Франка, 2012, 872 с.
3. Гречко Л.Г., Єжов С.М. Сугаков В.О. Збірник задач із теоретичної фізики. Квантова механіка. Вид. КНУ ім. Тараса Шевченка, 2013. 215 с.
4. Дудик М.В. Практичний курс квантової механіки. Бровари : АНФ груп, 2022. 107 с.
5. Юхновський І. Р. Основи квантової механіки: навч. посібник для студентів фіз. спец. вищ. навч. закладів. К. : Либідь, 2002. 390 с.

Допоміжна

1. Бережної Ю.А. Лекції з квантової механіки. Х. : ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2014. 432 с.
2. Висоцький В.І. Квантова механіка та її використання у прикладній фізиці : підручник. К. : ВПЦ "Київський університет", 2008. 367 с.
3. Карбованець М.І., Лазур В.Ю., Нодь Є.А. Практикум з квантової механіки. Ужгород: Видавництво УжНУ "Говерла", 2022. 52 с.
6. Основи квантової механіки: навч. посіб. для студентів фіз. -мат. спец. вищ. пед. навч. закл. / Є. Ф. Венгер, В. М. Грибань, О. В. Мельничук. Київ : Вища школа, 2002. 285 с.
7. Яцишин В. П.. Квантова механіка : зб. задач з теорет. фізики : навч. посіб. для студентів вищ. навч. закл. спец. "Фізика". Київ : ВППОЛ, 1993. 109 с

14. Інформаційні ресурси

1. <http://nuclphys.sinp.msu.ru/books/qm/index.html> - книги і посібники з квантової механіки
2. <http://www.youtube.com/watch?v=ARRP8qrqe1s&list=PLE61A955CA34AD967> – відеолекції з квантової механіки