

Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича
Навчально-науковий інститут фізико-технічних та комп'ютерних наук

Кафедра інформаційних технологій та комп'ютерної фізики



“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Директор навчально-наукового інституту
фізико-технічних та комп'ютерних наук

Олег АНГЕЛЬСЬКИЙ

“09” серпня 2024 року

РОБОЧА ПРОГРАМА
навчальної дисципліни

КВАНТОВА МЕХАНІКА
обов'язкова

Освітньо-професійна програма «Прикладна фізика та наноматеріали»

Спеціальність 105 Прикладна фізика та наноматеріали

Галузь знань 10 Природничі науки

Рівень вищої освіти перший бакалаврський

Мова навчання українська

Робоча програма навчальної дисципліни «КВАНТОВА МЕХАНІКА» складена відповідно до освітньо-професійної програми першого (бакалаврського) рівня вищої освіти «Прикладна фізика та наноматеріали» за спеціальністю 105 - Прикладна фізика та наноматеріали галузі знань 10 - Природничі науки, затвердженої Вченою радою Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича (Протокол № 6 від «26» травня 2022 року).

Розробник: Войцехівська Оксана Миколаївна, доцент кафедри інформаційних технологій та комп'ютерної фізики, кандидат фіз.-мат. наук, доцент.

Викладач: Войцехівська Оксана Миколаївна, доцент кафедри інформаційних технологій та комп'ютерної фізики, кандидат фіз.-мат. наук, доцент.

Погоджено з гарантом ОПП і затверджено на засіданні кафедри термоелектрики та медичної фізики

Протокол № 1 від “ 09 ” серпня 2024 року

В.о. завідувача кафедри ТЕМФ К.Ф. Кобилянський Р.Р.

Робоча програма затверджено на засіданні кафедри інформаційних технологій та комп'ютерної фізики

Протокол № 1 від “ 08 ” серпня 2024 року

Завідувачка кафедри ІТКФ М.Д. Борча М.Д.

Схвалено методичною радою навчально-наукового інституту фізико-технічних та комп'ютерних наук

Протокол № 1 від “ 09 ” серпня 2024 року

Голова методичної ради ННІФТКН І.П. Козярський І.П.

Пояснювальна записка

Метою навчальної дисципліни “Квантова механіка” є вивчення понятійного апарату квантової механіки та основних квантово-механічних закономірностей мікро- та наносвіту, як основи наступної навчальної та науково-дослідницької роботи студента.

Завданням вивчення навчальної дисципліни “Квантова механіка” є засвоєння здобувачами освіти законів квантової механіки та різних способів розв’язування практичних задач відповідними теоретичними методами.

Пререквізити: курси вищої математики: “Математичний аналіз”, “Аналітична геометрія та лінійна алгебра”, “Диференціальні та інтегральні рівняння”, “Основи векторного і тензорного аналізу”, “Методи математичної фізики” “Фізика атома й атомних явищ”, “Оптика” “Фізика ядра й елементарних частинок”, “Теоретична механіка й основи механіки суцільних середовищ”, “Електродинаміка”.

Постреквізити: “Термодинаміка й статистична фізика”, спеціалізовані курси вибіркової компоненти .

Результати навчання:

знати: загальний математичний апарат квантової механіки; способи та методи його використання для розв’язування квантово-механічних задач. Студенти повинні мати чіткі уявлення про фізичну природу явищ, що підкоряються квантовим закономірностям.

вміти: застосовувати основні положення квантової механіки для встановлення, тлумачення, пояснення і класифікації суті та механізмів різноманітних фізичних явищ і процесів у мікро- і наноструктурах, застосовувати базові навички проведення теоретичних наукових досліджень у мікро- та наноструктурах.

Програмні результати навчання:

РН1. Знати і розуміти сучасну фізику на рівні, достатньому для розв’язання складних спеціалізованих задач і практичних проблем прикладної фізики.

РН2. Застосовувати сучасні математичні методи для побудови й аналізу математичних моделей фізичних процесів.

РН3. Застосовувати ефективні технології, інструменти та методи експериментального дослідження властивостей речовин і матеріалів, включаючи наноматеріали, при розв’язанні практичних проблем прикладної фізики.

РН4. Застосовувати фізичні, математичні та комп’ютерні моделі для дослідження фізичних явищ, розробки приладів і наукоємних технологій.

РН12. Розуміти закономірності розвитку прикладної фізики, її місце в розвитку техніки, технологій і суспільства, у тому числі в розв’язанні екологічних проблем.

ПРН1. Знати і розуміти фізичні властивості термоелектричних матеріалів та термоелектричних перетворювачів енергії в режимах охолодження, нагріву і генерування електричної енергії, а також особливості фізичних процесів і явищ в термоелектричних вимірювальних приладах.

Фахові компетентності.

ЗК1. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.

ЗК2. Знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності.

ФК2. Здатність брати участь у плануванні і виконанні експериментів та лабораторних досліджень властивостей фізичних систем, фізичних явищ і процесів, обробленні й презентації їхніх результатів.

ФК6. Здатність використовувати сучасні теоретичні уявлення в галузі фізики для аналізу фізичних систем.

ФКС1. Знати загальні принципи дії термоелектричних пристроїв та апаратури. Здатність аналізувати особливості теплових процесів у різних термоелектричних пристроях. Опанувати теоретичні та практичні навички комп’ютерного моделювання функціональних матеріалів, перетворювачів енергії, теплових насосів, інформаційних та енергетичних систем.

Опис змісту робочої програми навчальної дисципліни
Загальна інформація

Квантова механіка												
Форма навчання	Рік підготовки	Семестр	Кількість			Кількість годин						Вид підсумкового контролю
			кредитів	годин	змістових модулів	лекції	практичні	семінарські	лабораторні	самостійна робота	індивідуальні завдання	
Денна	4	7	4	120	3	60	15			45		екзамен

Структура змісту навчальної дисципліни

Назви змістових модулів і тем	Кількість годин					
	денна форма					
	усього	у тому числі				
		л	п	лаб.	інд.	с.р.
1	2	3	4	5	6	7
Змістовий модуль 1. Основні поняття математичного апарату квантової механіки.						
Тема 1. Вступ. Історія розвитку квантової механіки. Стани квантово-механічної системи.	3	2				1
Тема 2. Хвильова функція. Принцип суперпозиції.	3	2				1
Тема 3. Оператори, їх властивості та дії над ними.	5	2	1			2
Тема 4. Комутатори та їх властивості.	5	2	1			2
Тема 5. Хвильова функція вільної частинки.	3	2				1
Тема 6. Середнє значення координати та імпульсу.	4	2				2
Тема 7. Співвідношення невизначеностей Гайзенберга.	4	2	1			1
Тема 8. Власні значення та власні функції операторів.	5	2	1			2
Тема 9. Хвильове рівняння Шредінгера.	5	2	1			2
Тема 10. Закон збереження ймовірності. Рівняння неперервності.	4	2	1			1
Тема 11. Зміна середніх значень фізичних величин із часом. Квантові дужки Пуассона.	3	2				1
Разом за ЗМ1	44	22	6			16
Змістовий модуль 2. Найпростіші задачі квантової механіки.						
Тема 12. Рух частинки у нескінченно глибокій потенціальній ямі.	5	2	1			2

Тема 13. Лінійний гармонічний осцилятор.	5	2	1			2
Тема 14. Проходження частинки крізь потенціальний бар'єр.	4	2	1			1
Тема 15. Холодна емісія електронів з металу.	3	2				1
Тема 16. Теорія Гамова альфа-розпаду важких ядер.	3	2				1
Тема 17. Рух частинки у центрально-симетричному полі.	4	2				2
Тема 18. Радіальне рівняння Шредінгера.	4	2	1			1
Тема 19. Задача двох частинок (електрон у кулонівському полі атомного ядра).	4	2				2
Тема 20. Елементи теорії представлень.	3	2				1
Тема 21. Класифікація низькорозмірних структур. Ефект розмірного квантування.	4	2				2
Разом за ЗМ2	39	20	4			15
Змістовий модуль 3. Наближені методи розв'язування квантово-механічних задач.						
Тема 22. Стаціонарна теорія збурень для невинродженого спектру.	5	2	1			2
Тема 23. Стаціонарна теорія збурень для винродженого спектру.	5	2	1			2
Тема 24. Ефект Штарка в атомі водню.	3	2				1
Тема 25. Варіаційний принцип (метод Рітца).	5	2	1			2
Тема 26. Теорія збурень залежних від часу.	3	2				1
Тема 27. Імовірність квантового переходу за одиницю часу.	4	2	1			1
Тема 28. Квантові переходи під дією раптових збурень.	5	2	1			2
Тема 29. Рівняння Кляйна-Гордона –Фока.	4	2				2
Тема 30. Рівняння Дірака. Матриці Дірака.	3	2				1
Разом за ЗМ3	37	18	5			14
Усього годин	120	60	15			45

Теми лекційних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Вступ. Історія розвитку квантової механіки. Стани квантово-механічної системи.	2
2	Хвильова функція. Принцип суперпозиції.	2
3	Оператори, їх властивості та дії над ними.	2

4	Комутатори та їх властивості.	2
5	Хвильова функція вільної частинки.	2
6	Середнє значення координати та імпульсу.	2
7	Співвідношення невизначеностей Гайзенберга.	2
8	Власні значення та власні функції операторів.	2
9	Хвильове рівняння Шредінгера.	2
10	Закон збереження ймовірності. Рівняння неперервності.	2
11	Зміна середніх значень фізичних величин із часом. Квантові дужки Пуассона.	2
12	Рух частинки у нескінченно глибокій потенціальній ямі.	2
13	Лінійний гармонічний осцилятор.	2
14	Пройходження частинки крізь потенціальний бар'єр.	2
15	Холодна емісія електронів з металу.	2
16	Теорія Гамова альфа-розпаду важких ядер.	2
17	Рух частинки у центрально-симетричному полі.	2
18	Радіальне рівняння Шредінгера.	2
19	Задача двох частинок (електрон у кулонівському полі атомного ядра).	2
20	Елементи теорії представлень.	2
21	Стационарна теорія збурень для невинродженого спектру.	2
22	Стационарна теорія збурень для винродженого спектру.	2
23	Ефект Штарка в атомі водню.	2
24	Варіаційний принцип (метод Рітца).	2
25	Теорія збурень залежних від часу.	2
26	Імовірність квантового переходу за одиницю часу.	2
27	Квантові переходи під дією раптових збурень.	2
28	Рівняння Кляйна-Гордона –Фока.	2
29	Рівняння Дірака. Матриці Дірака.	2

Тематика практичних занять

№	Назва теми	Кількість годин
1	Оператори фізичних величин, дії над ними та їх властивості.	1
2	Комутатори операторів фізичних величин.	1
3	Середнє значення координати та імпульсу.	1
4	Співвідношення невизначеностей Гайзенберга.	1
5	Власні значення і власні функції операторів, їх властивості.	1
4	Стационарне рівняння Шредінгера.	1
6	Еволюція хвильової функції.	1
7	Рух частинки у полі прямокутного потенціалу.	1
8	Пройходження частинки крізь потенціальний бар'єр.	1
9	Лінійний гармонічний осцилятор.	1
10	Рух частинки у центрально-симетричному полі. Задача двох частинок.	1
11	Стационарна теорія збурень для невинродженого спектру.	1
12	Стационарна теорія збурень для винродженого спектру.	1
13	Варіаційний метод Рітца.	1
14	Теорія збурень залежних від часу.	1
15	Імовірність квантового переходу за одиницю часу.	1

Зміст завдань для самостійної роботи

№ з/п	Назва теми	
1	<i>Стани квантово-механічної системи.</i> Вступ, історія розвитку квантової механіки. Стани квантово-механічної системи. Фізичний зміст хвильової функції. Принцип суперпозиції. Властивості хвильової функції.	1
2	<i>Математичний апарат квантової механіки.</i> Оператори фізичних величин. Дії над операторами та їх властивості. Таблиця основних операторів у координатному представленні. Середнє значення оператора. Комутатори операторів та їх властивості.	5
3	<i>Хвильова функція вільної частинки.</i> Хвильова функція вільної частинки та її властивості. Плоска та просторова хвиля де-Бройля. Середнє значення координати частинки, що вільно рухається. Середнє значення імпульсу частинки, що вільно рухається. Квантування імпульсу та енергії.	2
4	<i>Власні значення та власні функції операторів.</i> Власні значення фізичних операторів. Вироджений і невироджений спектр. Власні функції операторів. Властивості власних функцій операторів. Рівняння для визначення власних значень і власних функцій. Співвідношення невизначеності Гейзенберга для довільних фізичних величин. Співвідношення невизначеності Гейзенберга для координати і імпульсу.	3
5	<i>Рівняння Шредінгера.</i> Стационарне рівняння Шредінгера. Нестационарне рівняння Шредінгера. Рівняння неперервності. Закон збереження ймовірності.	3
6	<i>Зміна середніх значень з часом.</i> Зміна середніх значень фізичних величин з часом. Зміна хвильової функції з часом. Інтеграли руху.	1
7	<i>Рух частинки у нескінченно глибокій потенціальній ямі.</i> Постановка задачі. Розв'язок рівняння Шредінгера для одномірного руху частинки у нескінченно глибокій потенціальній ямі. Аналіз енергій і хвильових функцій для одномірного руху частинки у нескінченно глибокій потенціальній ямі. Поняття про квантові точки і квантові дроти.	2
8	<i>Лінійний гармонічний осцилятор.</i> Постановка задачі. Розв'язок рівняння Шредінгера для ЛГО. Аналіз енергій і хвильових функцій для ЛГО. Узагальнення результатів для трьохмірного гармонійного осцилятора. Поняття про фонони.	2
9	<i>Проходження частинки крізь потенціальний бар'єр.</i> Проходження частинки крізь потенціальний бар'єр. Коефіцієнт проходження та відбивання. Потенціальний бар'єр довільної форми.	3
10	<i>Рух частинок у центрально-симетричному полі.</i> Постановка задачі. Гамільтоніан двох взаємодіючих частинок у декартовій системі координат. Перехід від декартової системи координат до сферичної. Рівняння Шредінгера у сферичній системі координат. Умова нормування для сферичних хвильових функцій. Рівняння Шредінгера для радіальної хвильової функції.	3
11	<i>Задача двох частинок (електрон у кулонівському полі атомного ядра).</i> Постановка задачі. Радіальна хвильова функція та енергетичний спектр атома водню. Стала Рідберга. Аналіз енергетичного спектру та хвильових функцій. Серії ліній випромінювання. Кутовий розподіл електронної густини.	3

12	<i>Стационарна теорія збурень для невиродженого спектру.</i> Гамільтоніан збурення. Параметр вмикання взаємодії. Розв'язок рівняння Шредінгера із збуреним гамільтоніаном. Енергія і хвильова функція у першому наближенні теорії збурень. Енергія у другому наближенні теорії збурень.	2
13	<i>Стационарна теорія збурень для виродженого спектру.</i> Хвильова функція у випадку виродженого спектру. Ефект Штарка в атомі водню. Розв'язок рівняння Шредінгера із збуреним гамільтоніаном. Енергії і хвильові функції у першому наближенні теорії збурень.	3
14	<i>Варіаційний метод Рітца.</i> Варіаційна задача для функціонала. Пробна хвильова функція основного стану. Варіація норми. Стационарне рівняння Шредінгера. Знаходження мінімуму енергії за варіаційними параметрами. Пробна хвильова функція першого збудженого стану.	2
15	<i>Теорія квантових переходів під дією зовнішнього збурення.</i> Нестационарна теорія збурень. Адіабатичне і раптове включення і виключення взаємодії. Золоте правило Фермі. Імовірність квантового переходу за одиницю часу під дією періодичного збурення.	2
16	<i>Релятивістська квантова механіка</i> Рівняння Кляйна-Гордона-Фока. Рівняння Дірака. Матриці Дірака. Момент кількості руху в теорії Дірака.	2
17	Класифікація низьковимірних систем (квантові точки, дроти, надгратки). Ефект розмірного квантування.	2

Примітка: контроль виконання завдань, винесених на самостійне опрацювання проводиться в рамках поточного модульного контролю. Бали за цю роботу входять у загальну кількість балів за конкретний модуль.

Методи та освітні технології навчання

1. Лекції: пояснювально-ілюстративний, репродуктивний метод та метод проблемного викладення.
2. Практичні заняття: розв'язуванням задач дослідницький, репродуктивний метод.
3. Самостійна робота: самонавчання, дослідницький метод.

Контроль та оцінювання навчальних досягнень студентів у процесі вивчення дисципліни

Засоби оцінювання

Засобами оцінювання та демонстрування результатів навчання є:

- усне опитування ;
- перевірка розв'язаних задач під час практичних занять;
- перевірка домашніх завдань.

Система контролю та оцінювання

Види та форми контролю: усні відповіді на контрольні запитання, самостійно виконані практичні завдання; презентації;

Форма підсумкового контролю: екзамен.

Перелік питань для самоконтролю й контролю навчальних досягнень здобувачів освіти з навчальної дисципліни

Змістовий модуль 1. Основні поняття квантової механіки.

1. Сформулювати у який спосіб описуються стани квантово-механічної системи і чим він відрізняється від підходу класичної механіки.
2. Сформулювати у чому полягає фізичний зміст хвильової функції та яким чином вона описує стани квантово-механічної системи.

3. Сформулювати у чому полягає фізичний зміст принципу суперпозиції хвильової функції та чим він відрізняється від опису класичних систем. Проаналізувати його властивості.
4. Пояснити поняття операторів фізичних величин, вимоги до них, дії над ними та їх властивості.
5. Сформулювати поняття комутатора операторів фізичних величин та їх властивості, а також як ці властивості використовуються для розв'язування рівняння Шредінгера.
6. Описати спосіб отримання хвильової функції вільної частинки.
7. Проаналізувати властивості хвильової функції вільної частинки та різницю між класичною і квантовою частинкою.
8. Описати спосіб отримання рівняння для визначення власних значень і власних функцій операторів.
9. Проаналізувати властивості власних значень і власних функцій операторів, як розв'язків відповідного рівняння.
10. Сформулювати основний принцип закладений у співвідношення невизначеності Гейзенберга для координати і імпульсу.
11. Провести аналіз квантово-механічного принципу, який закладений у співвідношенні невизначеності Гейзенберга.
12. Сформулювати основні постулати і отримати хвильове рівняння (стаціонарне і нестаціонарне рівняння Шредінгера).
13. Проаналізувати спосіб отримання хвильового рівняння (стаціонарного і нестаціонарного рівняння Шредінгера) на основі аксіоматичного підходу.
14. Описати зміну середніх значень фізичних величин і хвильової функції з часом.
15. Сформулювати означення інтегралів руху.
16. Сформулювати фізичний зміст рівняння неперервності для густини ймовірності хвильової функції та закону збереження ймовірності.
17. Проаналізувати зміст і висновки, що випливають з рівняння неперервності для густини ймовірності хвильової функції та закону збереження ймовірності.
18. Описати залежність хвильової функції від часу, коли гамільтоніан системи явно від часу не залежить.

Змістовий модуль 2. Основні задачі квантової механіки.

1. Описати процес розв'язування рівняння Шредінгера для частинки у прямокутній безмежно глибокій несиметричній квантовій ямі.
2. Проаналізувати властивості спектра і хвильових функцій частинки у прямокутній безмежно глибокій несиметричній квантовій ямі.
3. Сформулювати задачу про проходження частинки крізь потенціальний бар'єр, проаналізувати відмінність між класичною і квантовою частинкою.
4. Проаналізувати фізичний зміст тунельного ефекта.
5. Пояснити зміст коефіцієнтів проходження та відбивання частинки (хвилі) крізь потенціальний бар'єр.
6. Сформулювати задачу про проходження частинки крізь потенціальний бар'єр довільної форми, проаналізувати конкретні фізичні приклади.
7. Описати процес розв'язування рівняння Шредінгера для лінійного гармонійного осцилятора.
8. Проаналізувати особливості спектра та хвильових функцій лінійного гармонійного осцилятора. Відмінність між класичним і квантовим осцилятором.
9. Описати особливості руху частинки у центрально-симетричному полі. Сформулювати задачу двох частинок у такому полі і спосіб її розв'язування.
10. Описати основні моменти процесу розв'язування рівняння Шредінгера для двох взаємодіючих частинок у центрально-симетричному полі.
11. Описати основні моменти процесу розв'язування рівняння Шредінгера для електрона у кулонівському полі атомного ядра.

12. Описати основні властивості спектра і хвильових функцій електрона у кулонівському полі атомного ядра.
13. Проаналізувати спосіб отримання радіального рівняння Шредінгера у задачі двох частинок, що взаємодіють між собою у центральній-симетричному полі.
14. Проаналізувати ефект розмірного квантування у низько-розмірних наноструктурах і його особливості.
15. Сформулювати принципи поділу низько-розмірних наноструктур на типи (квантові точки, дроти, надгратки). Навести приклади їх використання.

Змістовий модуль 3. Наближені методи розв'язування квантово-механічних задач.

1. Описати наближений спосіб розв'язування рівняння Шредінгера: стаціонарна теорія збурень у випадку невиродженого спектра.
2. Описати наближений спосіб розв'язування рівняння Шредінгера: стаціонарна теорія збурень у випадку виродженого спектра.
3. Описати алгоритм наближеного способу розв'язування рівняння Шредінгера: варіаційного метода Рітца.
4. Проаналізувати ефект Штарка (розщеплення збудженого енергетичного рівня у атомі водню під дією електричного поля).
5. Описати основні етапи формулювання задачі Шредінгера у теорії збурень величин залежних від часу.
6. Проаналізувати спосіб отримання ймовірності квантового переходу під дією збурення залежного від часу.
7. Пояснити процес отримання ймовірності переходу за одиницю часу під дією періодичного збурення.
8. Проаналізувати зміст і висновки, що слідує із золотого правила Фермі.

Критерії оцінювання результатів навчання з навчальної дисципліни

Критерієм підсумкового оцінювання є досягнення студентом мінімальних балів передбачених результатами навчання коли студент в основному опанував теоретичні знання навчальної дисципліни, уміє розв'язувати задачі, орієнтується в першоджерелах та рекомендованій літературі, відповідно до вимог навчальної програми.

Розподіл балів, які отримують здобувачі освіти

Поточне оцінювання (аудиторна та самостійна робота)										
Змістовий модуль 1										
T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11
2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Змістовий модуль 2										
T12	T13	T14	T15	T16	T17	T18	T19	T20	T21	
2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	

Поточне оцінювання (аудиторна та самостійна робота)										Підсумковий контроль (екзамен)	Сума
Змістовий модуль 3											
T22	T23	T24	T25	T26	T27	T28	T29	T30		40	100
2	2	2	2	2	2	2	2	2			

T1, T2 ... T30 – теми змістових модулів.

Залежно від характеру відповіді студента зазначена кількість балів може бути скоригована за наступними критеріями:

К-ть балів	Критерії оцінки
max	студент дає вичерпну відповідь на поставлене запитання; правильно розв'язує задачу
0,8 · max	студент при відповіді на поставлене запитання припустився незначних неточностей, які не впливають на суть відповіді; допускає незначні помилки при розв'язуванні задач
0,6 · max	студент при відповіді на поставлене запитання припустився помилок, які виправляє за допомогою викладача; в середньому може дати правильні відповіді на 50% питань теми (задач);
0,4 · max	студент при відповіді на поставлене запитання припустився суттєвих помилок, які все ж таки виправляє за допомогою викладача; дає правильні відповіді на 30% питань теми (задач);
0,2 · max	отримує студент, який за допомогою викладача фрагментарно відповідає на запитання, проте не в повній мірі володіє мінімальним рівнем знань з даного питання;
0	якщо характер відповідей дає підставу стверджувати, що студент неправильно зрозумів суть питання чи не знав правильної відповіді, а тому відповідав, припускаючись грубих помилок.

Критерії оцінювання навчальних досягнень здобувачів освіти за шкалою ECTS та національною шкалою на екзамені з дисципліни " Квантова механіка "

Здобувач освіти має відповісти на два питання у відповідному білеті. За відповідь на кожне питання здобувач освіти може максимально отримати 20 балів. Результати екзамена оцінюються відповідно до прийнятої уніфікованої університетської шкали: 40 балів від загальної 100-бальної, при цьому кожна відповідь оцінюється наступним чином:

0–5 балів. Здобувач освіти виявляє слабке уявлення про основні поняття квантової механіки.

6-10 балів. Здобувач освіти має фрагментарні уявлення про основні поняття квантової механіки.

11-14 балів. Здобувач освіти знає окремі факти, що стосуються питання, але не може впевнено сформулювати цілісну картину. Здобувач освіти за допомогою викладача відтворює окремі частини начального теоретичного матеріалу, дає визначення основних понять і формулює окремі закони й закономірності, що розглядалися в курсі.

15-17 балів. Здобувач освіти самостійно відтворює значну частину навчального матеріалу, формулює закони й закономірності, що розглядалися в курсі, але допускає несуттєві помилки. Може пояснити основні квантово-механічні явища.

18-20 балів. Здобувач освіти самостійно відтворює фактичний і теоретичний навчальний матеріал, пояснює суть явищ та квантових процесів. Здобувач освіти вільно володіє засвоєними знаннями.

У відомість обліку успішності та залікову книжку (індивідуальний навчальний план) здобувача освіти заноситься сумарна кількість балів поточного (0-60 балів) та підсумкового контролю (іспит; 0-40 балів) згідно такої таблиці:

Шкала оцінювання: національна та ЄКТС

Оцінка за національною шкалою	Оцінка за шкалою ECTS	
	Оцінка (бали)	Пояснення за розширеною шкалою
Відмінно	A (90-100)	відмінно
Добре	B (80-89)	дуже добре
	C (70-79)	добре
Задовільно	D (60-69)	задовільно
	E (50-59)	достатньо
Незадовільно	FX (35-49)	(незадовільно) з можливістю повторного складання

Зарахування результатів неформальної освіти

Відповідно до «Положення про взаємодію формальної та неформальної освіти, визнання результатів навчання (здобутих шляхом неформальної та/або інформальної освіти, в системі формальної освіти) у Чернівецькому національному університеті імені Юрія Федьковича (протокол No109 від 28 березня 2022 року) ([polozhennia-pro-vzaiemodiiu-formalnoi-ta-neformalnoi-osvity.pdf](#)) у процесі вивчення дисципліни здобувачу освіти може бути зараховано до 25% балів, отриманих за результатами неформальної та/ або інформальної освіти з проблем, що відповідають тематиці курсу.

Політика академічної доброчесності

Освітня діяльність (викладача і здобувача освіти) під час вивчення навчальної дисципліни ґрунтується на принципах співробітництва та академічної доброчесності. Очікується, що роботи студентів будуть оригінальним дослідженням чи міркуванням й об'єктивно оцінені викладачем.

Дотримання політики щодо академічної доброчесності учасниками освітнього процесу при вивченні навчальної дисципліни регламентовано такими документами:

«Етичний кодекс Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича» <https://www.chnu.edu.ua/media/jxdfs0zb/etychnyi-kodeks-chernivetskoho-natsionalnoho-universytetu.pdf>;

«Положення про виявлення та запобігання академічного плагіату у Чернівецькому національному університеті імені Юрія Федьковича» https://www.chnu.edu.ua/media/f5eleobm/polozhennya-pro-zapobihannia-plahiatu_2024.pdf.

Рекомендована література (основна)

1. Вакарчук І.О. «Квантова механіка». – Львів, Видавництво Львівського державного університету, 1998. – 616 с. (2004. – 783 с., доповнене видання).
2. Юхновський І.Р. «Основи квантової механіки» Київ: Либідь, 1995. – 352 с.
3. Венгер Є.Ф., Грибань В.М., Мельничук О.В. «Основи квантової механіки». – Київ: Вища школа, 2002. – 285 с.
4. Глауберман А.Ю. «Квантова механіка». – Львів, Видавництво Львівського державного університету, 1962. – 506 с.
5. Вакарчук І.О., Кулій Т.В., Кнігінський О.В., Ткачук В.М. «Збірник задач з квантової механіки». – Львів, Видавництво Львівського державного університету, 1997.

Інформаційні ресурси

1. Сторінка курсу в Moodle <https://moodle.chnu.edu.ua/course/view.php?id=3347>
2. Сторінка КІТКФ http://ptcsi.chnu.edu.ua/cafedra_page/ /загальна інформація/
3. Сторінка наукової бібліотеки ЧНУ <http://www.library.chnu.edu.ua/index.php?page=ua>
4. Відкритий математичний ресурс Wolfram Research <https://mathworld.wolfram.com/>.
5. Інші інформаційні ресурси інтернету.