

Міністерство освіти і науки України

Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна

Кафедра теоретичної фізики імені академіка І.М.Ліфшиця

“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Проректор
з науково-педагогічної роботи

Пантелеймонов А.В.



20 р.

Робоча програма навчальної дисципліни

Квантова механіка
(назва навчальної дисципліни)

рівень вищої освіти бакалавр

галузь знань 10 Природничі науки
(шифр і назва)

Спеціальність 105– «прикладна фізика та наноматеріали»

освітня програма «Радіофізика і електроніка та біофізика»
(шифр і назва)

спеціалізація _____
(шифр і назва)

вид дисципліни обов'язкова
(обов'язкова / за вибором)

факультет радіофізики, біомедичної електроніки та комп'ютерних систем

2018 / 2019 навчальний рік

Програму рекомендовано до затвердження Вченою радою факультету (інституту, центру)

“21” 06 2018 року, протокол № 7

РОЗРОБНИКИ ПРОГРАМИ:

**Єрмолаєв Олександр Михайлович, член-кор. НАН України д. фіз.-мат. наук,
професор, Єзерська Олена Володимирівна, канд. фіз.-мат. наук, доц.,
Апостолов Станіслав Сергійович канд. фіз.-мат. наук, доц.**

Програму схвалено на засіданні кафедри теоретичної фізики імені академіка І.М.Ліфшиця

Протокол від “ 15 ” 06 2018 року № 7

Завідувач кафедри теоретичної фізики імені академіка І.М.Ліфшиця

ініціали)

(підпис)

Рашба Г.І.
(прізвище та

Програму погоджено методичною комісією

фізичного факультету

назва факультету, для здобувачів вищої освіти якого викладається навчальна дисципліна

Протокол від “ 19 ” 06 2018 року № 6

Голова методичної комісії фізичного факультету

(підпис)

Макаровський М.О.

(прізвище та ініціали)

ВСТУП

Програма навчальної дисципліни “**Квантова механіка**” складена відповідно до освітньо-професійної програми підготовки першого рівню вищої освіти – бакалавр напрямку (спеціальності) 105– «прикладна фізика та наноматеріали»

1. Опис навчальної дисципліни

1.1. Мета викладання навчальної дисципліни

Метою викладання навчальної дисципліни «Квантова механіка» є надання студентам уявлень про принципи і методи нерелятивістської квантової теорії, точні та наближені методи розв’язання рівняння Шредінгера.

1.2. Основні завдання вивчення дисципліни «Квантова механіка»
навчити студентів

- досліджувати енергетичні спектри простих квантових систем, як за допомогою точного вирішення рівняння Шредінгера, так і наближеними методами,
- досліджувати еволюцію квантово-механічних систем за допомогою вирішення нестационарного хвильового рівняння,
- аналізувати динаміку спінових систем в магнітному полі,
- обчислювати атомні терми,
- володіти технікою вторинного квантування,
- використовувати квантові правила відбору для знаходження спектрів випромінювання та поглинання атомних систем,
- користуючись навчальною та довідковою літературою, обирати адекватні методи вирішення задач квантової механіки.

1.3. Кількість кредитів 4.

1.4. Загальна кількість годин 120.

1.5. Характеристика навчальної дисципліни
денна форма навчання
Нормативна
Рік підготовки
3-й
Семестри
5-й
Лекції
32 год.
Практичні, семінарські
32 год.
Лабораторні
немає
Самостійна робота
56 год.
В тому числі 10 год. на 1 індивідуальне розрахунково-графічне завдання

1.6. Згідно з вимогами освітньо-професійної програми студенти повинні досягти таких результатів навчання:

Знати, розуміти та бути здатним застосовувати на базовому рівні квантово-механічні методи, аналізу, тлумачення, пояснення і класифікації суті та механізмів різноманітних фізичних явищ і процесів, які відбуваються у мікроскопічних системах, з метою розв'язування типових фізичних задач.

Бути здатним застосовувати базові математичні знання з нерелятивістської квантової механіки, розв'язувати рівняння Шредінгера точними та наближеними методами, володіти методами квантової теорії, вільно користуватись ними при розрахунках характеристик мікросистем з метою отримання фізичних характеристик. На основі відомих властивостей хвильової функції та енергетичного спектру вміти розраховувати фізичні характеристики квантових систем.

2. Тематичний план навчальної дисципліни

Розділ 1. ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ КВАНТОВОЇ МЕХАНІКИ. РІВНЯННЯ ШРЕДІНГЕРА

Тема 1. Фізичні основи квантової механіки. Хвильові властивості частинок. Гіпотеза Де-Бройля. Корпускулярно-хвильовий дуалізм.

Тема 2. Хвильова функція. Принцип суперпозиції. Розклад хвильової функції по плоским хвилям.

Тема 3. Хвильові пакети. Співвідношення невизначеності. Принцип причинності в квантовій механіці.

Тема 4. Хвильове рівняння. Вектор густини потоку ймовірності.

Тема 5. Рішення рівняння Шредінгера в простих випадках: частинка в одновимірній прямокутній потенціальній ямі, лінійний осцилятор. Осциляційна теорема.

Тема 6. Відбиття та проходження через потенціальний бар'єр. Прямокутна сходинка та прямокутний бар'єр.

Розділ 2. МАТЕМАТИЧНИЙ АПАРАТ КВАНТОВОЇ МЕХАНІКИ.

Тема 7. Лінійні оператори. Власні значення та власні функції ермітових операторів. Ортонорміровка та повнота власних функцій ермітових операторів.

Тема 8. Квантомеханічні величини і оператори. Елементи теорії зображень.

Тема 9. Хвильова функція та ймовірність результатів вимірювань. Середні значення фізичних величин.

Тема 10. Оператори і власні функції операторів координати та імпульсу в координатному та імпульсному представленні.

Тема 11. Оператор Гамільтона. Стаціонарні стани.

Тема 12. Рівняння Шредінгера в імпульсному представленні. Рішення рівняння Шредінгера для δ -ями в імпульсному зображенні.

Тема 13. Комутація операторів. Дужки Пуассона в квантовій механіці. Нерівності Гейзенберга.

Тема 14. Оператори проекції і квадрата кутового моменту.

Тема 15. Диференціювання операторів за часовою змінною. Інтеграл руху. Закон збереження парності. Повний набір фізичних величин. Зображення Шредінгера та зображення Гейзенберга.

Тема 16. Співвідношення невизначеності для енергії та часу.

Розділ 3. ЧАСТИНКА У ЗОВНІШНЬОМУ ПОЛІ

Тема 17. Задача двох тіл в квантовій механіці.

- Тема 18. Частинка в центральному полі. Розділ змінних в рівнянні Шредінгера. Вільний рух частинки з заданим моментом імпульсу. Сферичні хвилі.
Тема 19. Рух в кулоновому полі. Випадкове виродження.
Тема 20. Рух частинки в полі одновимірного періодичного потенціалу («гребінка» Дірака)
Тема 21. Гармонічний осцилятор. Рішення рівняння Шредінгера методом факторизації. Оператори народження та знищення.
Тема 22. Електрон у магнітному полі. Рівні та стани Ландау.

Розділ 4. НАБЛИЖЕНІ МЕТОДИ У КВАНТОВІЙ МЕХАНІЦІ

- Тема 23. Стаціонарна теорія збурень для невироджених рівнів.
Тема 24. Стаціонарна теорія збурень для вироджених рівнів. Секулярне рівняння.
Тема 25. Теорія нестационарних збурень. Квантові переходи.
Тема 26. Квазікласичне наближення. Граничний перехід до класичної механіки. Рішення рівняння Шредінгера у квазікласичному наближенні.
Тема 27. Рух частинки в потенціальній ямі у квазікласичному наближенні. Правила квантування Бора-Зоммерфельда.
Тема 28. Проходження через потенціальний бар'єр у квазікласичному наближенні. Квазікласичний коефіцієнт прозорості бар'єру. Тунельний ефект. Теорія α -розпаду.

Розділ 5. СПІН. ТОТОЖНІ ЧАСТИНКИ. АТОМИ І МОЛЕКУЛИ. КВАНТОВА ТЕОРІЯ ВИПРОМІНЮВАННЯ. ТЕОРІЯ РОЗСІЯННЯ

- Тема 29. Спін елементарних частинок. Оператори спіна. Власні функції та власні значення операторів спіна 1/2.
Тема 30. Принцип тотожності однакових частинок. Хвильові функції системи бозонів та ферміонів. Принцип Паулі.
Тема 31. Молекула водню. Обмінна взаємодія.
Тема 32. Зображення чисел заповнення.

3. Структура навчальної дисципліни

Назви модулів і тем	Кількість годин					
	Денна форма					
	Усього	у тому числі				
л		п	лаб	інд	с.р	
1	2	3	4	5	6	7
Розділ 1. ОСНОВИ КВАНТОВОЇ МЕХАНІКИ. РІВНЯННЯ ШРЕДІНГЕРА						
Тема 1	2	1				1
Тема 2	2	1				1
Тема 3	2	1				1
Тема 4	2	1				1
Тема 5	6	1	4			1
Тема 6	6	1	4			1
Разом за розділом 1	20	6	8			6
Розділ 2. МАТЕМАТИЧНИЙ АПАРАТ КВАНТОВОЇ МЕХАНІКИ						
Тема 7	3	1	1			1
Тема 8	4	1	2			1
Тема 9	4	1	2			1
Тема 10	3	1	1			1
Тема 11	5	1	2			2
Тема 12	3	1			1	1
Тема 13	3	1				2
Тема 14	4	1	1			2
Тема 15	3	1				2
Тема 16	3	1				2
Разом за розділом 1	35	10	9		1	15
Розділ 3. ЧАСТИНКА В ЗОВНІШНЬОМУ ПОЛІ						
Тема 17	4	1	1		1	1
Тема 18	4	1	1		1	1
Тема 19	5	1	2		1	1
Тема 20	4	1	1		1	1
Тема 21	5	1	2		1	1
Тема 22	3	1				2
Разом за розділом 3	25	6	7		5	7
Розділ 4 НАБЛИЖЕНІ МЕТОДИ У КВАНТОВІЙ МЕХАНІЦІ						
Тема 23	4	1	1		1	1
Тема 24	4	1	1		1	1
Тема 25	4	1	1			2
Тема 26	4	1	1			2
Тема 27	4	1	1		1	1
Тема 28	4	1	1		1	1
Разом за розділом 4	24	6	6		4	8
Розділ 5. СПІН. ТОТОЖНІ ЧАСТИНКИ. АТОМИ І МОЛЕКУЛИ. КВАНТОВА ТЕОРІЯ ВИПРОМІНЮВАННЯ. ТЕОРІЯ РОЗСІЯННЯ						
Тема 29	5	1	2			2
Тема 30	3	1				2

Тема 31	4	1			3
Тема 32	4	1			3
Разом за розділом 5	16	4	2		10
Разом за семестр	120	32	32		46

4. Темы практичних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	2	3
1.	Одновимірний рух. Стани дискретного спектру. Розв'язання рівняння Шредінгера для потенціалів з локальними особливостями (прямокутна нескінченно глибока яма, прямокутна яма кінцевої глибини, дельта-яма та ін.)	4
2.	Одновимірний рух. Проходження через потенціальний бар'єр. Знаходження коефіцієнтів проходження та відбиття для різних бар'єрів.	4
3.	Математичний апарат квантової механіки. Лінійний простір. Приклади лінійних просторів. Лінійні оператори. Властивості лінійних операторів.	3
4.	Ермітові оператори, унітарні оператори. Властивості власних функцій та власних значень ермітових операторів. Унітарне перетворення. Розв'язання рівняння на власні функції та власні значення для типових операторів квантової механіки. Комутатори.	3
5.	Функції від операторів. Елементи теорії зображень. Перехід від координатного до імпульсного зображення. Властивості матриць Паулі.	2
6.	Оператор механічного моменту. «Сходінкові» оператори. Комутаційні співвідношення, власні функції та власні значення \hat{L}_z , \hat{L}^2 . Обчислення середніх і середніх квадратичних значень проєкцій механічного моменту для станів з певним значенням магнітного квантового числа та для станів з певними значеннями орбітального та магнітного квантового числа.	1
7.	Задача двох тіл в квантовій механіці та її зведення до задачі про рух у центральному полі.	1
8.	Рух в центральному полі. Плоский та просторовий ротатори. Сферична прямокутна яма кінцевої глибини. Водородоподібний атом.	3
9.	Використання методу трансфер-матриці для рішення задач про рух у періодичних потенціалах (гребінка Дірака, потенціал Кроніга-Пенні)	1
10.	Лінійний осцилятор. Рішення задачі методом факторизації за допомогою операторів народження та знищення	2
11.	Стаціонарна теорія збурень для невідроджених рівнів.	1
12.	Стаціонарна теорія збурень для вироджених станів.	1
13.	Нестационарна теорія збурень. Ймовірність переходу в новий стан.	1
14.	Квазікласичне наближення. Теорія ВКБ (квазікласичне рішення рівняння Шредінгера). Правила квантування Бора-Зомерфельда. Знаходження рівнів енергії в квазікласичному наближенні.	2

15.	Квазікласичне наближення. Знаходження коефіцієнта проходження через потенціальний бар'єр в квазікласичному наближенні.	1
16.	Властивості оператора спіну $s = 1/2$.	2
	Разом	32

5. Завдання для самостійної роботи

№ з/п	Види, зміст самостійної роботи	Кількість годин
1	2	3
1	Знайти у літературі опис явищ, що вимагають квантово-механічний опис. Оцінка довжин де-Бройля для мікро- та макро-частинок. Самостійно, користуючись підручниками та Інтернет джерелами прочитати про дискусію Н.Бора та А.Ейнштейна про основи квантової механіки, зокрема статистичну трактовку хвильової функції, про уявний експеримент Шредінгера.	1
2	Знайти в літературних джерелах різні формулювання принципу суперпозиції. Розглянути застосування принципу суперпозиції в квантовій механіці на прикладі хвильових пакетів. Для одновимірного хвильового пакету знайти вигляд хвильової функції у лінійному наближенні. Провести моделювання точного рішення із «розпливанням» хвильового пакету за допомогою будь-якого пакету символічної математики (Maple, Mathematica тощо)	1
3	Провести оцінки співвідношення невизначеності для мікро та макрочастинок. Знайти приклади «роботи» принципу відповідності. Чим принцип причинності в квантовій механіці відрізняється від аналогічного принципу в класичній механіці?	1
4	Записати стаціонарне рівняння Шредінгера для модельних задач. Провести обчислення середніх значень оператора координати для модельних задач.	1
5	Навчитися аналізувати принципові особливості енергетичного спектру частинки, яка рухається в полі різних потенціальних енергій з фінітним рухом (тобто у потенціальних ямах) у координатному зображенні.	1
6	Самостійно провести розв'язок задачі про відбиття та проходження частинок крізь одновимірні потенційні бар'єри найпростіших форм (прямокутний несиметричний бар'єр, дельта-бар'єр).	1
7	Знайти та записати якомога більше прикладів лінійних операторів, ермітових операторів. Самостійно провести доказ особливостей власних функцій та власних значень ермітових операторів	1
8	Самостійно обґрунтувати, чому квантово-механічним величинам ставляться у відповідність саме ермітові оператори, користуючись доведеними в п. 7 властивостями власних значень ермітових операторів.	1
9	Самостійно провести доказ формули для обчислення середніх значень фізичних величин, користуючись відомою формулою з теорії імовірності.	1
10	Розрахувати самостійно ядра операторів координати, імпульсу, оператора Гамільтона для частинки у зовнішньому полі у координатному та в імпульсному зображенні.	1
11	Самостійно знайти в підручниках та в конспекті лекцій відомості про особливості стаціонарних станів. Пояснити, чому всі фізичні величини	2

	та імовірності не залежать від часу та якому закону (законам) збереження в класичній механіці це відповідає.	
12	Самостійно провести рішення задачі про енергетичні рівні та хвильові функції частинки у полі δ -ями в імпульсному зображенні. В тому числі <u>1 год.</u> на виконання індивідуального розрахунково-графічного завдання.	2
13	Самостійно повторити доказ теорем про зв'язок комутатора двох операторів з можливістю чи неможливістю одночасного вимірювання двох фізичних величин. Зробити самостійно розрахунки нерівностей Гейзенберга для координати та імпульсу. Знайти хвильову функцію, яка задовольняє мінімально можливому значенню добутку невизначеностей цих величин.	2
14	Розрахувати всі комутаційні співвідношення для операторів координати, імпульсу, механічного моменту та квадрату моменту.	2
15	Прослідити аналогію між диференціюванням по часу функції координат, імпульсів та часу в класичній механіці та диференціюванням квантовомеханічних операторів за часом. Як інтеграли руху в класичній механіці, пов'язані із квантовими числами в квантовій механіці? Розібрати наведені в підручниках приклади повних наборів фізичних величин. Самостійно розібрати особливості зображень Шредінгера та Гейзенберга та довести, що перехід здійснюється за допомогою унітарного перетворення.	2
16	Знайти в підручниках різні способи доказу співвідношення невизначеності для часу та енергії.	2
17	Самостійно провести перехід від задачі двох тіл до задачі про рух у центральному полі для двох однакових частинок, скориставшись загальними формулами, виведеними на лекції. В тому числі <u>1 год.</u> на виконання індивідуального розрахунково-графічного завдання.	2
18	Хвильова функція частинки у центрально-симетричному полі. Рішення задач із застосуванням розділення змінних у рівнянні Шредінгера. В тому числі <u>1 год.</u> на виконання індивідуального розрахунково-графічного завдання.	2
19	Знайти в літературі відомості про випадкове виродження енергетичних рівнів у кулоновому полі. Самостійно розрахувати кратності виродження рівнів енергії із фіксованим значенням головного квантового числа. В тому числі <u>1 год.</u> на виконання індивідуального розрахунково-графічного завдання.	2
20	Розв'язати самостійно задачу про рух частинки у періодичному потенціалі Крооніга–Пенні методом трансфер-матриці, скориставшись демонстрацією лекції за посиланням http://kaf-theor-phys.univer.kharkov.ua/presentations/QM_TM_demonstration.ppsx В тому числі <u>1 год.</u> на виконання індивідуального розрахунково-графічного завдання.	2
21	Самостійно розв'язати задачу про енергетичний спектр лінійного осцилятора за допомогою операторів народження та знищення (метод факторизації). В тому числі <u>1 год.</u> на виконання індивідуального розрахунково-графічного завдання.	2
22.	Скориставшись калібровкою Ландау знайти рівні енергії електрона, який рухається в постійному магнітному полі у двовимірному просторі.	2
23	В рамках теорії збурень, що не залежать від часу самостійно розрахувати поправки до рівнів енергії у системах з невиродженим та	2

	виродженим спектром таких як заряджений осцилятор, плоский ротатор в електричному полі, довільна дворівнева система. В тому числі <u>1 год.</u> на виконання індивідуального розрахунково-графічного завдання.	
24	В рамках теорії збурень, що не залежать від часу самостійно розрахувати поправки до рівнів енергії у системах з невиродженим та виродженим спектром таких як заряджений осцилятор, плоский 2ротатор в електричному полі, довільна дворівнева система. В тому числі <u>1 год.</u> на виконання індивідуального розрахунково-графічного завдання.	2
25	Побудувати графіки залежності імовірності переходу під дією збурення, яке діє протягом скінченного проміжку часу для однорідних змінних полей з задачі 8.24 в [5]	2
26	Самостійно знайти нерівності, які є необхідною умовою застосування квазікласичного наближення. Провести в нульовому наближенні граничний перехід від рівняння Шредінгера до рівняння Гамільтона–Якобі класичної механіки.	2
27	Самостійно дослідити, як змінюється правило квантування Бора–Зомерфельда в залежності від особливостей потенціальної ями. В тому числі <u>1 год.</u> на виконання індивідуального розрахунково-графічного завдання.	2
28	По виведеним на лекції формулам для імовірності тунелювання в квазікласичному наближенні провести оцінки току при польовій емісії та альфа-розпаду у квазікласичному наближенні. В тому числі <u>1 год.</u> на виконання індивідуального розрахунково-графічного завдання.	2
29	Повторити властивості матриць Паулі, які розбиралися на практичних заняттях.	2
30	Записати всі комутаційні співвідношення для операторів народження та знищення бозонів та ферміонів. Знайти в літературних джерелах та інтернет-ресурсах відомості про наслідки принципу Паулі: вироджений електронний газ, атомне ядро, білі карлики, нейтронні зірки.	2
31	Самостійно провести розрахунки обмінного інтегралу для молекули водню, скориставшись виведеними на лекції формулами для хвильової функції системи з двох невзаємодіючих ферміонів.	3
32	Прочитати в підручниках [1], [2] про вторинне квантування систем бозонів та ферміонів та про комутаційні співвідношення для бозонних та ферміонних операторів народження та знищення. З'ясувати, чому квантування називається вторинним.	3
	Разом	56

6. Індивідуальні завдання

Індивідуальне розрахунково-графічне завдання.

7. Методи контролю

Рішення задач на практичних заняттях, опитування, контрольна робота за основними розділами, перевірка домашніх завдань, залік за результатами поточного контролю та залікової роботи, екзамен.

8. Схема нарахування балів

Поточний контроль, самостійна робота, індивідуальні завдання						Екзамен	Сума
Розділи 1-2	Розділи 3-4	Розділ 5	Контрольна робота, передбачена навчальним планом	Індивідуальне розр.-граф. завдання	Разом		
T1-T16	T17-T28	T29-T32	(1 контрольна робота)				
10	10	10	10	20	60	40	100

Для зарахування розділів 1-5 треба написати самостійні роботи на практичних та виконати домашні завдання і набрати у підсумку не менше 10 балів. Також треба написати контрольну роботу та отримати за неї не менше 5 балів, виконати та захистити індивідуальне розрахункове завдання і набрати за нього не менше 10 балів.

Для допуску до підсумкового семестрового контролю студент повинен здати 5 розділів, написати контрольну роботу, захистити індивідуальне розрахунково-графічне і набрати у підсумку не менше 30 балів.

Критерії оцінювання діяльності студента по курсу «Квантова механіка»

1. Оцінювання діяльності студента на практичних заняттях по курсу "Квантова механіка"

(максимум = 60 балів)

1. Домашні завдання (ДЗ, максимум = 20 балів).

Кожне виконане вчасно ДЗ (всього 12 ДЗ) оцінюється виходячи з 2 балів максимуму. ДЗ, виконана пізніше терміну, оцінюється виходячи з 1 бали максимуму. Підсумковий результат = сума всіх балів за ДЗ.

2. Індивідуальне розрахунково-графічне завдання (ІРГЗ, максимум = 20 балів).

ІРГЗ містить дві задачі. Захищене ІРГЗ оцінюється 20 балів максимум (по 10 балів максимум за завдання). Виконана, але не захищене ІРГЗ коштує 10 балів максимум (за 5 балів максимум за завданням).

3. Самостійні роботи (СР, максимум = 20 балів).

Кожна СР оцінюється виходячи з 4 балів максимум.

Підсумковий результат = сума балів за 5 кращих СР.

4. Контрольна робота (КР, максимум = 10 балів).

Контрольна робота в першу половину семестру (якщо ця контрольна ректорська, то результати подаються в деканат).

5. Вирішення задач у дошках (ЗД, 1 завдання = 1 бал).

Успішне рішення одного завдання у дошки оцінюється в 1 бал. Кількість виходів до дошки обмежена лише кількістю завдань.

6. Підсумок = ДЗ + ІДЗ + СР + РК + ЗД > 70 балів.

За результатами всіх практичних занять студент отримує не більше 60 балів

Екзамен

Екзаменаційний білет складається з чотирьох питань: двох теоретичних та двох задач. За кожне питання максимальна оцінка - 10 балів.

Максимальна оцінка за екзаменаційну роботу 40 балів

Максимальна підсумкова оцінка за весь курс – 100 балів

Критерії оцінювання письмової екзаменаційної роботи

У відповіді на теоретичне питання студент повинен продемонструвати знання теорії навчальної дисципліни «Квантова механіка» та її понятійно-категоріального апарату, термінології, понять і принципів предметної області дисципліни.

Максимальні бали виставляються в разі чіткої, логічної, послідовної відповіді на поставлене питання, з висновками основних формул, формулюванням фізичних законів

У процесі оцінювання теоретичних завдань екзаменаційного білету враховуються:

- повнота розкриття питання (2 бали);
- уміння чітко формулювати визначення фізичних понять, термінів та пояснювати їх (2 бали);
- здатність аргументувати отриману відповідь (2 бали);
- здатність робити аналітичні міркування, порівняння, формулювання висновків (2 бали);
- логічна послідовність викладення матеріалу у відповіді на завдання (2 бали).

Рішення задач повинні бути обґрунтованими, з посиланням на відповідні фізичні закони та рівняння, які застосовуються при рішенні, з послідовними розрахунками всіх основних формул, доведеним до кінцевого результату з чіткою відповіддю на поставлене питання. За рішення задачі (практичного завдання) нараховуються такі бали:

1. Завдання розв'язано на оцінку 10 балів у випадку, коли студент отримав правильну відповідь і продемонстрував метод і спосіб її отримання.
2. Завдання розв'язано на оцінку 8-9 балів, коли студент не отримав правильну відповідь, але продемонстрував вірний метод і спосіб її отримання.
3. Завдання розв'язано частково на оцінку 5-7 балів, коли студент не отримав правильну відповідь, але частково розв'язав задачу та отримав деякі проміжні результати.
4. Завдання розв'язано на оцінку 0-4 балів, коли студент не отримав правильну відповідь, причому метод і спосіб розв'язання завдання були не вірними.

Екзамен зданий, якщо сумарна оцінка за письмову екзаменаційну роботу не менше 20 балів, а сумарний підсумковий бал не менше 50 балів.

Шкала оцінювання

Сума балів за всі види навчальної діяльності протягом семестру	Оцінка за національною шкалою	
	для чотирирівневої шкали оцінювання	для дворівневої шкали оцінювання
90 – 100	відмінно	зараховано
70-89	добре	
50-69	задовільно	
1-49	незадовільно	не зараховано

9. Рекомендована література

Основна література

1. Левич В.Г., Вдовин Ю.А., Мямлин В.А. Курс теоретической физики. Т. 2. - М.: Физматгиз, 1971. - 936 с.
2. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Квантовая механика.-М.: Наука, 1989.-768 с.
3. Елютин П.В., Кривченков В.Д. Квантовая механика. - М.: Наука, 1976. – 336с.
4. J.-L. Basdevant, J. Dalibard. Quantum Mechanics. – Springer-Verlag, Berlin, 2002. – 512 p.
5. Галицкий Е.М., Карнаков Б.М., Коган В.И. Задачи по квантовой механике. - М.:Наука, 1981. – 648с.
6. Гречко Л.Г., Сугаков В.И., Томасевич О.Ф., Федорченко А.М. Сборник задач по теоретической физике. – М.:Высшая школа, 1984. – 319с.

Допоміжна література

1. Давыдов А.С. Квантовая механика. - М.: Наука, 1973. - 704 с.
2. Мессия А. Квантовая механика. В 2-х т. – М.: Наука, 1979. – Т.1. – 478с, Т.2. – 583с.
3. Бете Г. Квантовая механика. - М.: Мир, 1965. - 333 с.
4. Фейнман Р., Хиббс А. Квантовая механика и интегралы по траекториям. - М.: Мир, 1968. - 382 с.
5. Вакарчук І.О. Квантова механіка: Підручник. – Львів: ЛДУ ім. І. Франка, 1998. – 616с.
6. Ульянов В.В. Задачи по квантовой механике и квантовой статистике. - Харьков: Вища школа, 1980. - 216 с.
7. Ульянов В.В. Методы квантовой кинетики. - Харьков: Вища школа, 1987. - 144 с.
8. Гольдман И.И., Кривченков В.Д. Сборник задач по квантовой механике. – М.: Гос.изд-во технико-теоретической литературы, 1957. – 275с.
9. Флюгге З. Задачи по квантовой механике. В 2-х т.- М.: Мир, 1974. – Т. 1. - 341с., Т. 2. -315с.

10. Посилання на інформаційні ресурси в Інтернеті, відео-лекції, інше методичне забезпечення

1. Учбові матеріали на сайті кафедри теоретичної фізики
http://kaf-theor-phys.univer.kharkov.ua/ukrainian/for%20students_study_ukr.html
http://kaf-theor-phys.univer.kharkov.ua/ukrainian/for%20students_ref_ukr.html
2. Відеолекції та відкриті освітні матеріали МФТІ
<http://lectoriy.mipt.ru/course/viewall/>
3. Курс лекцій з квантової механіки (англійською мовою) проф. Дж.Бінні, Оксфордський університет:
http://rss.oucs.ox.ac.uk/oxitems/generatersstwo2.php?channel_name=mpls/quantum_mechanics-video або <http://mediapub.it.ox.ac.uk/feeds/129115/video.xml> (Обидва посилання відкриває Internet Explorer)
4. Відкриті матеріали Массачусетського технологічного інституту, США (MIT USA)

<http://ocw.mit.edu/courses/physics/8-04-quantum-physics-i-spring-2013/>

<http://ocw.mit.edu/courses/physics/8-05-quantum-physics-ii-fall-2013/>

<http://ocw.mit.edu/courses/physics/8-06-quantum-physics-iii-spring-2005/>

<http://ocw.mit.edu/courses/physics/8-321-quantum-theory-i-fall-2002/>

<http://ocw.mit.edu/courses/physics/8-322-quantum-theory-ii-spring-2003/>

5. Частина, які стосується квантової механіки з відеокурсу проф. Р.Шанкара Йельський університет (R.Shankar, Yale University) «Основи фізики II»

<http://ocw.mit.edu/courses/physics/phys-201>