

Міністерство освіти і науки України

Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна

Кафедра фізики ядра та високих енергій імені О.І. Ахієзера

“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Проректор з науково-педагогічної
роботи

Олександр ГОЛОВКО



_____ 2022 р.

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Теоретична фізика (квантова механіка)

(назва навчальної дисципліни)

рівень вищої освіти	перший (бакалавр)
галузь знань	10 «Природничі науки»
спеціальність	105 «Прикладна фізика та наноматеріали»
освітня програма	«Прикладна фізика»
спеціалізація	
вид дисципліни	обов'язкова
факультет	ННІ «Фізико-технічний факультет»

2022/2023 навчальний рік

Програму рекомендовано до затвердження Вченою радою факультету (інституту, центру)
 “26” серпня 2022 року, протокол №8

Розробники програми: (вказати авторів, їхні наукові ступені, вчені звання та посади)
 професор кафедри фізики ядра та високих енергій імені О. І. Ахієзера,
 кандидат фіз.-мат. наук Наумовець Артем Сергійович

Програму схвалено на засіданні кафедри фізики ядра та високих енергій імені О. І. Ахієзера
 Протокол від “26” серпня 2022 року, протокол № 13


Завідувач кафедри фізики ядра та високих енергій імені О. І. Ахієзера



_____ Микола ШУЛЬГА
 (підпис) (прізвище та ініціали)

Програму погоджено з гарантом освітньо-професійної програми Прикладна фізика
 (назва освітньої програми)

Гарант освітньої (професійної) програми



_____ (підпис)

Ігор ГРКА
 (прізвище та ініціали)

Програму погоджено методичною комісією ННІ «Фізико-технічний факультет»
 (назва факультету, для здобувачів вищої освіти якого викладається навчальна дисципліна)

Протокол від “30” серпня 2022 року, протокол №11

Голова методичної комісії фізико-технічного факультету



_____ (підпис)

Микола ЮНАКОВ
 (прізвище та ініціали)

ВСТУП

Програму навчальної дисципліни «КВАНТОВА МЕХАНІКА» складено відповідно до освітньо-професійної програми підготовки першого рівня вищої освіти (бакалавр). Галузь знань: 10 – «Природничі науки». Спеціальність: 105 – «Прикладна фізика та наноматеріали». Освітня програма: «Прикладна фізика», «Медична фізика», «Біомедичні нанотехнології». При розробці Програми враховані вимоги Стандарту вищої освіти першого (бакалаврського) рівня, галузі знань 10 – «Природничі науки», спеціальності 105 – «Прикладна фізика та наноматеріали», затвердженого наказом МОН України № 804 від 16.06.2020 р.

1. Опис навчальної дисципліни

1.1. Мета викладання навчальної дисципліни

Курс квантової механіки є базовою фізичною дисципліною в професійній освіті фахівця з сучасної фізики (прикладної фізики, теоретичної та експериментальної ядерної фізики, медичної фізики, фізики плазми, фізичного матеріалознавства). Наявність повноцінних знань з квантової механіки є обов'язковою для адекватного та грамотного визначення зв'язків у ланцюгу «структура мікросвіту – структура конденсованих речовин – структура молекул – структура атомів – структура атомних ядер – структура елементарних частинок», без чого неможливе свідоме та якісне засвоєння знань із спеціальних дисциплін сучасної фізики, що становлять основу освіти майбутнього бакалавра, спеціаліста та магістра у відповідній галузі знань. Протягом шостого та сьомого семестрів вивчаються розділи: фізичні та математичні основи квантової механіки; імпульс, момент імпульсу, спіні; основне рівняння нерелятивістської квантової механіки; наближені методи; системи тотожних частинок; атоми; молекули; атомні ядра; основні питання теорії розсіяння; спеціальні питання теорії розсіяння.

Структурно-логічне місце курсу «Квантова механіка» після курсів «Математичний аналіз», «Загальна фізика», «Атомна та ядерна фізика», «Теоретична механіка», «Методи математичної фізики», «Теорія імовірності», «Електродинаміка». Вивчення курсу є необхідним для розуміння та вивчення інших розділів сучасної теоретичної та експериментальної фізики. Без знань курсу квантової механіки неможливо сформулювати науковий світогляд фахівця в галузі сучасної фізики, яка є в основному квантовою.

1.2. Основні завдання вивчення дисципліни

полягають у тому, щоб допомогти студентам засвоїти теоретичні основи квантової механіки; основні методи розв'язання задач з квантової механіки з використанням основних методів вищої математики; сформулювати у студентів загальну та предметну компетентність в галузі квантової механіки; навчити студентів самостійно засвоювати наукові знання; дати основні наукові знання

для того, щоб вони могли розуміти, досліджувати, пояснювати та передбачати квантово-механічні явища.

Загальні компетентності, які мають бути засвоєні внаслідок вивчення теоретична фізика (квантова механіка):

- Здатність до проведення досліджень на відповідному рівні. **(ЗК-6)**
- Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел. **(ЗК-7)**
- Здатність працювати автономно. **(ЗК-9)**

Фахові компетентності, які мають бути засвоєні внаслідок вивчення теоретична фізика (квантова механіка):

- Здатність брати участь у плануванні та виконанні наукових та науково-технічних проектів. **(СК-1)**
- Здатність брати участь у плануванні і виконанні експериментів та лабораторних досліджень властивостей фізичних систем, фізичних явищ і процесів, обробленні й презентації їхніх результатів. **(СК-2)**
- Здатність до постійного розвитку компетентностей у сфері прикладної фізики, інженерії та комп'ютерних технологій. **(СК-5)**
- Здатність використовувати сучасні теоретичні уявлення в галузі фізики для аналізу фізичних систем. **(СК-6)**
- Здатність використовувати методи і засоби теоретичного дослідження та математичного моделювання в професійній діяльності. **(СК-7)**
- Здатність працювати із науковим обладнанням та вимірювальними приладами, обробляти та аналізувати результати досліджень **(СК-9)**;
- Здатність виконувати обчислювальні експерименти, використовувати чисельні методи для розв'язування фізичних задач і моделювання фізичних систем **(СК-10)**;

1.3. Кількість кредитів **9**.

1.4. Загальна кількість годин **270**.

1.5. Характеристика навчальної дисципліни Квантова механіка	
Нормативна	
Денна форма навчання	
Рік підготовки	
3-й	4-й
Семестр	
6-й	7-й
Лекції	
64 год.	32 год.
Практичні, семінарські заняття	

16 год.	32 год.
Лабораторні заняття	
-	-
Самостійна робота,	
70 год.	56 год.
у тому числі індивідуальні завдання	
5	4

1.6. Заплановані результати навчання

полягають у тому, що внаслідок опанування курсу квантової механіки студенти мають засвоїти теоретичні основи квантової механіки; основні методи розв'язання задач квантової механіки з використанням основних методів вищої математики; навички роботи в науковому колективі; у них мають бути сформовані загальна та предметна компетентності у галузі квантової механіки.

Згідно з освітньо-професійною програмою «Прикладна фізика» спеціальність 105 – «прикладна фізика та наноматеріали» студенти мають досягти таких результатів навчання:

- Знати і розуміти сучасну фізику на рівні, достатньому для розв'язання складних спеціалізованих задач і практичних проблем прикладної фізики. **(Зн-1)**
- Знати цілі сталого розвитку та можливості своєї професійної сфери для їх досягнення, в тому числі в Україні. **(Зн-2)**
- Розуміти закономірності розвитку прикладної фізики, її місце в розвитку техніки, технологій і суспільства, у тому числі в розв'язанні екологічних проблем. **(Зн-3)**
- Знати, розуміти та вміти застосовувати основні положення загальної та теоретичної фізики, зокрема, класичної, релятивістської та квантової механіки, механіки суцільних середовищ, молекулярної фізики та термодинаміки, електромагнетизму, хвильової та геометричної 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 теоретичної та прикладної фізики. **(Зн-4);**
- Знати і розуміти експериментальні основи фізики: аналізувати, описувати, тлумачити та пояснювати основні експериментальні підтвердження існуючих фізичних теорій. **(Зн-5)**
- Застосовувати сучасні математичні методи для побудови й аналізу математичних моделей фізичних процесів. **(Ум-1)**
- Застосовувати фізичні, математичні та комп'ютерні моделі для дослідження фізичних явищ, розробки приладів і наукоємних технологій. **(Ум-3)**

- Вибирати ефективні методи та інструментальні засоби проведення досліджень у галузі прикладної фізики. (УМ-4)
- Відшукувати необхідну науково-технічну інформацію в науковій літературі, електронних базах, інших джерелах, оцінювати надійність та релевантність інформації. (УМ-5)
- Класифікувати, аналізувати та інтерпретувати науково-технічну інформацію в галузі прикладної фізики. (УМ-6)
- Мати базові навички проведення теоретичних та/або експериментальних наукових досліджень з окремих спеціальних розділів фізики, що виконуються індивідуально (автономно) та/або у складі наукової групи. (АІВ-

1. Опис навчальної дисципліни

Найменування показників	Галузь знань, напрям підготовки, освітньо-кваліфікаційний рівень	Характеристика навчальної дисципліни	
		<i>Денна форма навчання</i>	
Кількість кредитів – 10	Галузь знань 0402 Фізико-математичні науки	Нормативна	
	Напрямок підготовки 040204 Прикладна фізика		
Модулів – 6	Спеціальності (професійне спрямування): експериментальна ядерна фізика і фізика плазми, медична фізика, фізичне матеріалознавство	Рік підготовки:	
		3-й	4-й
Загальна кількість годин – 288		Семестр	
		6-й	7-й
Тижневих годин для денної форми навчання: аудиторних – 6 самостійної роботи студента - 3	Освітньо-кваліфікаційний рівень: магістр, спеціаліст, бакалавр.	Лекції	
		64 год.	32 год.
		Практичні, семінарські	
		32 год.	32 год.
		Самостійна робота	
		78 год.	36 год.
		ІНДЗ: год.	
Вид контролю: іспити			

Співвідношення кількості годин аудиторних занять до самостійної і індивідуальної роботи становить:

для денної форми навчання - 65 % аудиторних

2. Тематичний план навчальної дисципліни

Вступ. Коротка історія квантово-механічних уявлень. Коло задач, квантової механіки. Фізична картина світу з погляду квантової фізики. Математичний формалізм квантової механіки. Структура курсу квантової механіки та огляд основних складових курсу. Теоретичні та експериментальні методи вивчення квантової механіки. Роль наукових абстракцій у науці.

6 семестр

Розділ 1. Фізичні та математичні основи квантової механіки.

Тема 1. Основні ідеї квантової механіки.

Основні ідеї та принципи квантової механіки. Ідея квантування. Корпускулярно-хвильовий дуалізм мікрооб'єктів і принцип невизначеності. Основні завдання квантової механіки. Принцип суперпозиції. Хвильова функція. Суперпозиція станів. Хвильова функція системи незалежних мікрооб'єктів.

Тема 2. Математичні основи квантової механіки.

Оператори фізичних величин. Неперервний спектр. Фізичні величини та матриці. Формалізм векторів станів. Оператор Гамільтона. Еволюція квантової системи. Матриця густини.

Тема 3. Імпульс.

Оператор імпульсу, його власні функції та комутаційні співвідношення. Співвідношення невизначеностей, хвильовий пакет.

Тема 4. Момент імпульсу.

Оператор моменту імпульсу. Власні значення та власні функції оператора моменту імпульсу. Додавання моментів. Парність стану. Спін, хвильові функції частинок зі спінами.

Розділ 2. Основне рівняння нерелятивістської квантової механіки.

Тема 5. Рівняння Шредінгера.

Одновимірний рух. Потенціальний бар'єр. Потенціальна яма. Осцилятор (координатне зображення та зображення чисел заповнення). Когерентні стани осцилятора. Тривимірний осцилятор.

Тема 6. Зовнішнє поле.

Рух частинки у зовнішньому полі. Задача двох тіл. Вільний рух. Фінітний рух зарядженої частинки в електричному полі. Рух зарядженої частинки в магнітному полі. Рівні Ландау.

Тема 7. Тотожні частинки.

Системи тотожних частинок. Нерозрізненність тотожних частинок. Хвильові функції з певною симетрією. Обмінна взаємодія. Вторинне квантування для систем тотожних бозонів і ферміонів.

Розділ 3. Наближені методи.

Тема 8. Теорія збурень.

Теорія збурень Релея–Шредінгера. Секулярне рівняння. Квазівиродження. Теорія збурень Бріллюена–Вігнера. Залежні від часу збурення. Переходи в неперервному спектрі.

Тема 9. Квазікласичне наближення.

Квазікласична хвильова функція. Дискретний спектр у потенціальній ямі. Частинка в двоямному потенціалі. Тунельний ефект. Холодна емісія електронів з металу. Альфа-розпад атомних ядер. Надбар'єрне відбиття.

7 семестр

Розділ 4. Атоми, молекули, атомні ядра.

Тема 10. Атоми.

Електронна структура атомів. Самоузгоджене поле. Рівняння Томаса–Фермі. Періодична система елементів Менделєєва. Мультипольні моменти. Атом в електричному полі. Атом у магнітному полі.

Тема 11. Молекули.

Структура молекул. Іонізована молекула водню. Валентність. Синглетні терми двохатомної молекули. Мультиплетні терми двохатомної молекули. Сили Ван-дер-Ваальса.

Тема 12. Атомні ядра.

Ядерні сили. Дейтрон. Ядерні оболонки. Коливання ядерної поверхні. Мікроскопічні моделі ядра.

Розділ 5. Загальні питання теорії розсіяння.

Тема 13. Квантова задача розсіяння.

Метод парціальних хвиль. Матриця розсіяння. Рівняння Ліппмана–Швінгера. Розсіяння повільних частинок. Розсіяння повільних нейтронів протонами. Квазістаціонарні стани та формули Брейта–Вігнера. Оператор переходу. Непружні зіткнення. Амплітуда розсіяння в імпульсному зображенні.

Тема 14. Матриця розсіяння.

Аналітичні властивості матриці розсіяння. Функції Йоста. Комплексні хвильові числа. Комплексна енергетична поверхня. Комплексні моменти, полюси та траєкторії Редже. Дисперсійні співвідношення.

Тема 15. Наближені методи.

Наближені методи теорії розсіяння. Борнове наближення. Наближення великих енергій. Наближення викривлених хвиль. Метод сильного зв'язку каналів. Багатоканальне розсіяння у наближенні ейконалу.

Розділ 6. Спеціальні питання теорії розсіяння.

Тема 16. Розсіяння заряджених частинок.

Розсіяння заряджених частинок електричним полем. Розсіяння електронів великих енергій атомами. Розсіяння електронів великих енергій атомними ядрами. Розсіяння тотожних частинок,

Тема 17. Ядерна оптика.

Розсіяння за наявності поглинання і комплексний потенціал. Близня та дальня амплітуди розсіяння. Квантова інтерференція в розсіянні мікрооб'єктів. Фраунгоферове та Френелеве дифракційне розсіяння. Райдужне розсіяння. Модифікації квантових інтерференційних картин. Непружне дифракційне розсіяння. Багаторазове дифракційне розсіяння.

Тема 18. Спінові ефекти при розсіянні.

Розсіяння частинок зі спінами. Поляризація частинок при розсіянні. Розсіяння частинок зі спінами $\frac{1}{2}$. Поляризація частинок при дифракційному розсіянні.

3. Структура навчальної дисципліни

Назви розділів і тем	Кількість годин					
	Денна форма					
	Усього	У тому числі				
лек		пр	л	інд	сп	
1	2	3	4	5	6	7
Розділ 1.						
Тема 1. Основні ідеї квантової механіки	18	6	3			9
Тема 2. Математичні основи квантової механіки	18	6	3			9
Тема 3. Імпульс	18	6	3			9
Тема 4. Момент імпульсу	18	6	3			9
Разом за розділом 1	72	24	12			36
Розділ 2						
Тема 5. Рівняння Шредінгера	20	8	4			8
Тема 6. Зовнішнє поле	20	8	4			8
Тема 7. Тотожні частинки	20	8	4			8
Разом за розділом 2	60	24	12			24
Розділ 3						
Тема 8. Теорія збурень	24	10	5			9
Тема 9. Квазікласичне наближення	24	10	5			9
Разом за розділом 3	48	20	10			18
Розділ 4						
Тема 10. Атоми	12	4	4			4
Тема 11. Молекули	12	4	4			4
Тема 12. Атомні ядра	12	4	4			4
Разом за розділом 4	36	12	12			12
Розділ 5						
Тема 13. Квантова задача розсіяння	12	4	4			4
Тема 14. Матриця розсіяння	12	4	4			4

Тема 15. Наближені методи	12	4	4			4
Разом за розділом 5	36	12	12			12
Розділ 6						
Тема 16. Розсіяння заряджених частинок	16	4	4			4
Тема 17. Ядерна оптика	16	4	4			4
Тема 18. Спінові ефекти при розсіянні	16	4	4			4
Разом за розділом 6	36	12	12			12
Усього годин	288	104	70			114

4. Теми практичних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Основні ідеї квантової механіки	2
2	Математичні основи квантової механіки	3
3	Імпульс	2
4	Момент імпульсу	2
5	Контрольна робота	2
6	Рівняння Шредінгера	3
7	Зовнішнє поле	3
8	Тотожні частинки	3
9	Контрольна робота	2
10	Теорія збурень	3
11	Квазікласичне наближення	3
12	Контрольна робота	2
13	Атоми	3
14	Молекули	3
15	Атомні ядра	3
16	Контрольна робота	2
17	Квантова задача розсіяння	3
18	Матриця розсіяння	3
19	Наближені методи	3
20	Контрольна робота	2
21	Розсіяння заряджених частинок	3
22	Ядерна оптика	3
23	Спінові ефекти при розсіянні	4
24	Контрольна робота	2

Разом 64 години

5. Завдання для самостійної робота

№ з/п	Назва теми	Кількість Годин
1	Основні ідеї квантової механіки	9
2	Математичні основи квантової механіки	9
3	Імпульс	9
4	Момент імпульсу	9
5	Рівняння Шредінгера	8
6	Зовнішнє поле	8
7	Тотожні частинки	8
8	Теорія збурень	9
9	Квазікласичне наближення	9
	Разом за 6 семестр	78
10	Атоми	4
11	Молекули	4
12	Атомні ядра	4
13	Квантова задача розсіяння	4
14	Матриця розсіяння	4
15	Наближені методи	4
16	Розсіяння заряджених частинок	4
17	Ядерна оптика	4
18	Спінові ефекти при розсіянні	4
	Разом за 7 семестр	36
	Разом	114

7. Методи навчання.

Лекції, практичні заняття, домашні завдання, самостійна робота.

8. Методи контролю.

Формами контролю є поточне опитування, тестування, контрольні роботи, оцінювання виконання самостійних домашніх завдань, підсумковий комбінований письмовий іспит. За кожний модуль студент може здобути 20 балів, за три модуля в семестрі – 60 балів. Мінімальна кількість балів за один модуль – 10. Для допуску до підсумкового семестрового контролю студенту потрібно здобути 30 балів.

9. Схема нарахування балів

Приклад для заліку

Поточне тестування та самостійна робота	Сума
---	------

Розділ 1					Розділ 2				
T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	100

T1, T2 ... T9 – теми модулів

Приклад для екзамену

Поточне тестування та самостійна робота									Підсумковий семестровий контроль (екзамен)	Сума
Розділ 1			Розділ 2			Розділ 3			40	100
T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9		
6	7	7	6	7	7	6	7	7		

T1, T2 ... T12 – теми Розділів

Для кожної теми розділа вказати форми контролю навчальних здобутків студентів та критерії оцінювання.

Для кожного розділа вказати мінімальну кількість балів, які повинен набрати студент для зарахування розділа.

Вказати умови допуску студента до підсумкового семестрового контролю.

Шкала оцінювання

Сума балів за всі види навчальної діяльності протягом семестру	Оцінка ECTS	Оцінка за національною шкалою	
		для екзамену, курсової роботи (проекту), практики	для заліку
90 – 100	A	відмінно	зараховано
80-89	B	добре	
70-79	C		
60-69	D	задовільно	
50-59	E		
1-49	FX	незадовільно	не зараховано

10. Рекомендована література

Основна література

1. Бережной Ю. А. Лекції з квантової механіки. /Ю. А. Бережной. –Х: Вид-во ХНУ імені В.Н.Каразіна, 2014. – 432 с. (Підручник з грифом МОН України).
2. L D Landau, E. M. Lifshitz Quantum Mechanics: Non-Relativistic Theory/ Elsevier, 2013

3. Quantum Mechanics: A Modern Development 1st Edition by Leslie E Ballentine/
Wspc; 1st edition (March 10, 1998) 672 pages
4. Lectures on Quantum Mechanics 2nd Edition by Steven Weinberg/ Cambridge
University Press; 2nd edition (November 9, 2015) 480 pages

Допоміжна

- Вакарчук І. О. Квантова механіка. /І. О. Вакарчук. – Львів: Вид-во ЛНУ, 2004. – 784 с.
- Ситенко О. Г. Теорія розсіяння. /О. Г. Ситенко. – К: Либідь, 1993. – 333 с.

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

- <https://slideplayer.com/slide/16853535/>