

КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА

ФІЗИЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ

Кафедра фізики металів



РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Квантова механіка

для студентів

галузь знань 10 Природничі науки
(шифр і назва)
спеціальність 104 Фізика та астрономія
освітній ступінь бакалавр
(молодший бакалавр, бакалавр, магістр)
освітня програма Фізика та астрономія
(шифр і назва спеціальності)
вид дисципліни обов'язкова *СЗ 16.*

Форма навчання	денна
Навчальний рік	2021/2022
Семестр	6
Кількість кредитів ECTS	4
Мова викладання, навчання та оцінювання	українська
Форма заключного контролю	іспит

Викладачі: доцент Плющай Інна Вячеславівна

(Науково-педагогічні працівники, які забезпечують викладання даної дисципліни у відповідному навчальному році)

Пролонговано: на 20__/20__ н.р. _____ (_____) «__» 20__ р.
(підпис, ПІБ, дата)

на 20__/20__ н.р. _____ (_____) «__» 20__ р.
(підпис, ПІБ, дата)

КИЇВ – 2021

Розробники¹: Плющай Інна Вячеславівна кандидат фіз.-мат. наук, доцент,
доцент кафедри фізики металів
(вказати авторів: ПІБ, науковий ступінь, вчене звання, посада, кафедра)

ЗАТВЕРДЖЕНО
Зав. кафедри фізики металів



(підпис)

(Курилюк В.В.)
(прізвище та ініціали)

Протокол № 11 від «10» червня 2021 р.

Схвалено науково-методичною комісією фізичного факультету

Протокол № 4 від «22» червня 2021 року

Голова науково-методичної комісії



(Оліх О.Я.)

¹ Розробляється лектором. Робоча програма навчальної дисципліни розглядається на засіданні кафедри (циклової комісії – для коледжів), науково-методичної комісії факультету/інституту (раді навчального закладу - коледжу), підписується завідувачем кафедри (головою циклової комісії), головою науково-методичної комісії факультету/інституту (головою пали) і затверджується заступником декана/директора інституту з навчальної роботи (заступником директора коледжу).

ВСТУП

1. Мета дисципліни – Розкрити студентам проблему атомарності, дискретності, квантовості щодо матерії та її характеристик. Показати, що для матерії корпускулярно-хвильовий дуалізм хвиля-частинка, частинка-хвиля є універсальною властивістю. Звернути увагу на особливості об'єктів квантової фізики – мікрочастинки та на макроскопічні квантові явища. Познакомити студентів як з теоретичними, так і з обчислювальними методами квантової механіки.

2. Попередні вимоги до опанування або вибору навчальної дисципліни (за наявності):

1. Знати основи математичного аналізу, лінійної алгебри, теорії функції комплексної змінної, математичної фізики.
2. Вміти розв'язувати елементарні диференціальні рівняння, диференціальні рівняння в частинних похідних, шукати власні числа та власні функції лінійних самоспряжених операторів.
3. Володіти елементарними навичками обчислення похідних від складних функцій, інтегралів.

3. Анотація навчальної дисципліни:

Дисципліна присвячена вивченню основних понять, положень та принципів квантової механіки. Починається курс із розгляду абстрактного гільбертового простору, який дозволяє надати математичне підґрунтя для трактування квантової механіки, при цьому коротко викладається алгебра операторів, діючих у гільбертовому просторі. Потім даються основні постулати квантової механіки та основний наслідок з них – співвідношення невизначеностей. Наступна тема дисципліни присвячується двом різним способам опису еволюції квантової системи у часі. Після викладення теорії квантової механіки, розглядається її застосування на прикладах простих модельних задач, зокрема детально розглядається гармонічний осцилятор у термінах вторинного квантування. Решта курсу пов'язана з вивченням таких важливих тем, як проходження частинки через бар'єр, момент кількості руху, рух у центральному полі, нерелятивістська теорія атома водню. Приділяється також увага питанню узгодженості квантової та класичної механіки. На завершення першої частини курсу вивчаються наближені методи розв'язку рівняння Шредингера, а саме стаціонарна та нестаціонарна теорія збурень і варіаційний метод.

4. Завдання (навчальні цілі):

Сформувані у студентів розуміння квантової природи матерії, основних постулатів та принципів квантової механіки. Навчити студентів обчислювати на базі квантовомеханічних принципів основні характеристики атомів водню та гелію, електромагнітного поля, процесів розсіяння частинок. Сформувані навички застосування наближених методів квантової механіки до дослідження складних фізичних систем.

Згідно вимог Стандарту вищої освіти України (перший (бакалаврський) рівень вищої освіти спеціальність 104 «Фізика та астрономія» ОПП «Фізика та астрономія» дисципліна забезпечує набуття здобувачами освіти наступних **компетентностей**:

Інтегральна:

Здатність розв'язувати складні спеціалізовані задачі та практичні проблеми в галузі середньої освіти, що передбачає застосування концептуальних методів освітніх наук, психології, теорії та методики навчання і характеризується комплексністю та невизначеністю умов організації освітнього процесу в закладах середньої освіти.

Загальних:

- ЗК01. Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу.
- ЗК02. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.
- ЗК12. Здатність спілкуватися державною мовою як усно, так і письмово.

Фахових:

- ФК23. Здатність виконувати теоретичні та експериментальні дослідження автономно та у складі наукової групи.
- ФК24. Здатність працювати з джерелами навчальної та наукової інформації.

5. Результати навчання за дисципліною:

Результат навчання (1. знати; 2. вміти; 3. комунікація; 4. автономність та відповідальність)		Форми (та/або методи і технології) викладання і навчання	Методи оцінювання та пороговий критерій оцінювання (за необхідності)	Відсоток у підсумковій оцінці з дисципліни
Код	Результат навчання			
1. Знати				
1.1	Основні постулати квантової механіки	Лекції, практичні заняття, самостійна робота,	Колоквіум, Модульні контрольні роботи, Завдання для самостійної роботи Екзаменаційна робота	7
1.2	основи теорії представлень	Лекції, практичні заняття, самостійна робота,	Колоквіум, Модульні контрольні роботи, Завдання для самостійної роботи	7
1.3	базові наближені методи квантової механіки та умови їх застосування для простих потенціалів	Лекції, практичні заняття, самостійна робота,	Колоквіум, Модульні контрольні роботи, Завдання для самостійної роботи	7
1.4	головні особливості взаємодії атома з електромагнітним полем на квантовому рівні	Лекції, практичні заняття, самостійна робота	Колоквіум, Модульні контрольні роботи, Завдання для самостійної роботи	7
1.5	Головні досягнення Релятивістської квантової механіки	Лекції, практичні заняття, самостійна робота, консультації	Колоквіум, Модульні контрольні роботи, Завдання для самостійної роботи	7
1.6	Основні методи багаточастинкової квантової теорії	Лекції, практичні заняття, самостійна робота, консультації	Колоквіум, Модульні контрольні роботи, Завдання для самостійної роботи	3
Загалом:				38

2. Вміти				
2.1	виконувати базові операції з операторами – рахувати комутатори операторів фізичних величин і знаходити їх середні значення	Лекції, практичні заняття, самостійна робота, консультації	Колоквіум, модульні контрольні роботи, завдання для самостійної роботи, екзаменаційна робота	8
2.2	отримувати спектри енергій частинок у одномірних потенціалах	Лекції, практичні заняття, самостійна робота, консультації	Колоквіум, модульні контрольні роботи, завдання для самостійної роботи, екзаменаційна робота	7
2.3	розраховувати спектр та хвильові функції частинки у дво- та три- вимірних потенціалах	Лекції, практичні заняття, самостійна робота, консультації	Колоквіум, модульні контрольні роботи, завдання для самостійної роботи, екзаменаційна робота	7
2.4	розв'язувати рівняння Дірака для атома водню та прямокутного потенціалу.	Лекції, практичні заняття, самостійна робота, консультації	Колоквіум, модульні контрольні роботи, завдання для самостійної роботи, екзаменаційна робота	7
2.5	одержувати основні результати квантової теорії випромінювання, теорії фотоефекту та дисперсії	Лекції, практичні заняття, самостійна робота, консультації	Колоквіум, модульні контрольні роботи, завдання для самостійної роботи, екзаменаційна робота	7
2.6	обчислювати спектр та хвильові функції для атома гелію та йона водню	Лекції, практичні заняття, самостійна робота, консультації	Колоквіум, модульні контрольні роботи, завдання для самостійної роботи, екзаменаційна робота	7
2.7	рахувати переріз розсіяння для модельних відштовхувальних потенціалів	Лекції, практичні заняття, самостійна робота, консультації	Колоквіум, модульні контрольні роботи, завдання для самостійної роботи, екзаменаційна робота	7
Загалом:				50

3. Комунікація				
3.1	Здатність презентувати результати самостійної роботи	Лекції, практичні заняття, самостійна робота, консультації	Колоквіум, модульні контрольні роботи, завдання для самостійної роботи, екзаменаційна робота	3
3.2	Бути толерантним впродовж вербальної взаємодії з колегами	Лекції, практичні заняття, самостійна робота, консультації	Колоквіум, модульні контрольні роботи, завдання для самостійної роботи, екзаменаційна робота	3
Загалом:				6
4. Автономність та відповідальність				
4.1	обробка необхідної інформації, її упорядкування та оцінка достовірності	Лекції, практичні заняття, самостійна робота, консультації	Колоквіум, модульні контрольні роботи, завдання для самостійної роботи, екзаменаційна робота	3
4.2	застосування отриманих знань до практичних завдань	Лекції, практичні заняття, самостійна робота, консультації	Колоквіум, модульні контрольні роботи, завдання для самостійної роботи, екзаменаційна робота	3
Загалом:				6

6. Співвідношення результатів навчання дисципліни із програмними результатами навчання (необов'язково для вибірових дисциплін які не входять до блоків спеціалізації)

Результати навчання дисципліни (код) Програмні результати навчання (назва)	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	3.1	3.2	4.1	4.2
	ПРН01. 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 астрономії.	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+			
ПРН04. Вміти застосовувати базові математичні знання, які використовуються у фізиці та астрономії: з аналітичної геометрії, лінійної алгебри, математичного аналізу, диференціальних та інтегральних рівнянь, теорії ймовірностей та математичної статистики, теорії груп, методів математичної фізики, теорії функцій комплексної змінної, математичного моделювання.	+	+	+	+	+	+											
ПРН17. Знати і розуміти роль і місце фізики, астрономії та інших природничих наук у загальній системі знань про природу та суспільство, у розвитку техніки й технологій та у формуванні сучасного наукового світогляду.														+	+		
ПРН18. Володіти державною та іноземною мовами на рівні, достатньому для усного і письмового професійного спілкування та презентації результатів власних досліджень.																+	+

7. Схема формування оцінки.

7.1 Форми оцінювання студентів:

- семестрове оцінювання:

6-ий семестр

Форми викладання і навчання	Форми контролю	Результати навчання	Кількість балів	
			min	max
Практичні завдання	Контрольна робота 1	2.4-2.5	4	10
	Контрольна робота 2	2.6-2.7	5	10
Лекційні заняття	Модульний контроль 2 (колоквіум)	1.3-1.5 4.2	6	20
Самостійна робота	Виконання домашніх завдань	1.3-1.6 2.4-2.7 3.1-3.2 4.1	6	20
Загалом за роботу у семестрі			20	60

- підсумкове оцінювання у формі іспиту

- максимальна кількість балів, які можуть бути отримані студентом за іспит – 40 балів за 100-бальною шкалою;
- оцінюються знання теорії та вміння розв'язувати задачі з курсу «Квантова механіка»;
- форма проведення письмова, два теоретичних питання (20 балів) і задачі (20 балів);
- для отримання загальної позитивної оцінки з дисципліни оцінка за іспит не може бути меншою 30 балів;
- якщо за результатами модульно-рейтингового контролю студент отримав за результатами контрольних робіт та модульного контролю (колоквіуму) разом 40 балів, то студент на іспиті звільняється від виконання практичних задач, які автоматично зараховуються з оцінкою “відмінно”.

- умови допуску до підсумкового іспиту:

студент не допускається до іспиту, якщо під час семестру набрав у сумі менше, ніж 15 балів за семестрові контрольні роботи та колоквіум, має не виконані завдання з самостійної роботи та/або має нездані пропуски семінарів.

7.2 Організація оцінювання:

Самостійна робота перевіряється на кожному практичному занятті, колоквіуми проводяться один раз.

Форма	Форми	Форми контролю
оцінювання	викладання і навчання	
Семестрова робота	Лекційні заняття	Модульний контроль 1
		Модульний контроль 2
	Практичні заняття	Контрольна робота 1
		Контрольна робота 2
		Колоквіум
	Самостійна робота	Тематичний контроль домашніх завдань
Підсумкова	Письмова робота	Екзаменаційна робота

7.3 Шкала відповідності оцінок

Відмінно / Excellent	90-100
Добре / Good	75-89
Задовільно / Satisfactory	60-74
Незадовільно / Fail	0-59

8. Структура навчальної дисципліни. Тематичний план лекційних та практичних занять

№ п/п	Назва лекції	Кількість годин		
		лекції	практичні	С/Р
Змістовий модуль 1				
1	Тема 1 Основні закони квантової механіки і її зв'язок з "класичною" фізикою.	2	2	4
2	Тема 2 Хвилі де Бройля. Основне завдання квантової механіки. Принцип доповнюваності.	2	2	4
3	Тема 3 Перший постулат квантової механіки.	2	2	4
4	Тема 4 Другий постулат квантової механіки.	2	2	4
5	Тема 5 Третій постулат квантової механіки.	2	2	4
6	Тема 6 Співвідношення невизначеностей.	2	2	4
7	Контрольна робота 1		2	4
Змістовий модуль 2				
8	Тема 7 Рівняння Шредінгера. Рівняння неперервності. Проходження частинки крізь бар'єр.	2	2	4
9	Тема 8 Зміна середніх значень фізичних величин з часом. Квантові дужки Пуассона.	2	2	4
10	Тема 9 Гармонічний осцилятор: хвильовий підхід, вторинне квантування.	4	2	4
11	Колоквіум і контрольна робота 2		4	8
12	Тема 10 Атом водню. Періодична таблиця елементів.	4	2	4
13	Тема 11 Стаціонарна теорія збурень. Вироджений та невироджений випадки.	4	2	4
14	Тема 12 Нестационарна теорія збурень.	2	2	4
	ВСЬОГО	30	30	60

Загальний обсяг 120 год.,

в тому числі: Лекцій – 30 год.

Практичні заняття – 30 год.

Консультації - 0 год.

Самостійна робота – 60 год.

Перелік питань, які виносяться на іспит

1. Недостатність класичної фізики. Неможливість пояснення корпускулярних властивостей світла (фотоефект, ефект Комптона). Нестійкість класичної моделі атома. Парадокс коваля. Ультрафіолетова катастрофа. Проблема теплоємності. Макроскопічні квантові явища.
2. Виникнення основних квантових уявлень на основі припущення Планка, теорії фотоефекту Ейнштейна, гіпотези де Бройля і досліди Девісона та Джермера. Корпускулярно-хвильовий дуалізм. Хвиля де Бройля як критерій застосовності законів квантової механіки.
3. Процес вимірювання в квантовій механіці. Основна задача квантової механіки.
4. Уявні експерименти Фейнмана та статистична інтерпретація М. Борном хвиль де Бройля.
5. Перший постулат квантової механіки. Опис стану в квантовій механіці, хвильова функція та її інтерпретація, її зв'язок з експериментально вимірюваними величинами. Нормування хвильової функції.
6. Обґрунтування та формулювання другого постулату квантової механіки.
7. Оператори фізичних величин. Побудова операторів фізичних величин методом класичної аналогії. Оператори координати та імпульсу в координатному та імпульсному представленнях.
8. Третій постулат квантової механіки. Зв'язок операторів фізичних величин зі спостережуваними даними.
9. Співвідношення невизначеностей, його фізичний зміст і наслідки з нього.
10. Чистий і змішаний стани. Загальний метод знаходження ймовірностей у квантовій механіці для чистих станів.
11. Нестационарне та стаціонарне рівняння Шредінгера.
12. Проходження частинки крізь потенціальний бар'єр, розрахунок коефіцієнтів відбиття та проходження.
13. Гармонічний осцилятор: хвильовий підхід.
14. Гармонічний осцилятор у формалізмі операторів народження і знищення. Вторинне квантування.
15. Рух у полі центральної сили.
16. Радіальне рівняння Шредінгера.
17. Атом водню: енергетичний спектр та хвильові функції електрона, що знаходиться в стаціонарному електричному полі ядра атома водню.
18. Стаціонарна теорія збурень. Невироджений випадок.
19. Стаціонарна теорія збурень. Вироджений випадок.
20. Постановка задачі в нестационарній теорії збурень. Метод варіації сталих Дірака.
21. Знаходження ймовірності переходу системи з одного стану в інший внаслідок дії скінченного в часі збурення. Матриця розсіяння.

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА:

1. Dirac P.A.M. The Principles of Quantum Mechanics. Oxford at the Clarendon Press. 1947.
2. Федорченко А.М. Теоретична фізика. т.2, Київ, Вища школа, 1993.
3. Вакарчук І.О. Квантова механіка. - Львів, ЛДУ, 2004.
4. Машкевич В.С. Годенко Л.П. Квантова фізика. Конспект лекцій Київ, КПІ, 1990.
5. Bohm A. Quantum Mechanics: Foundations and Applications. Springer. 1986.
6. Messiah A. Quantum Mechanics. Dover Books on Physics. 2014.
7. Flugge S. Practical Quantum Mechanics. Springer. 1999.
8. Pereyra P. Fundamentals of Quantum Physics: Textbook for Students of Science and Engineering. Springer. 2012.
9. Sharma A.C. A Textbook on Modern Quantum Mechanics. CRC Press 2022.
10. Greiner W. Relativistic Quantum Mechanics: Wave Equations. Springer, Science. 2012.
11. Bjorken J.D., Drell S.D. Relativistic Quantum Mechanics. McGraw-Hill Education. 1998.
12. Weinberg S. Lectures on Quantum Mechanics. Cambridge University Press. 2013.
13. Cronin J.A., Greenberg D.F., Telegdi V.L. Graduate Problems in Physics with Solutions. University of Chicago Press. 1979.
14. Squires G.L. Problems in quantum mechanics with solutions. Cambridge University Press. 1995.
15. Tamvakis K. Problems and solutions in quantum mechanics. Cambridge University Press. 2005.
16. Yung-Kuo L. Problems and solutions on quantum mechanics. World Scientific. 2005.