

КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА

**Фізичний факультет**  
(назва факультету/інституту)

Кафедра теоретичної фізики



**РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ<sup>1</sup>**  
**ТЕОРІЯ СИМЕТРІЇ КРИСТАЛІВ**

(повна назва навчальної дисципліни)

для студентів

галузь знань 10. Природничі науки  
(шифр і назва)  
спеціальність 104. Фізика та астрономія  
(шифр і назва спеціальності)  
освітній ступінь бакалавр  
(молодий бакалавр, бакалавр, магістр)  
освітня програма Фізика  
(назва освітньої програми)  
спеціалізація  
(за наявності) \_\_\_\_\_  
(назва спеціалізації)  
вид предмету вибіркова

Форма навчання	<u>очна</u>
Навчальний рік	<u>2022/2023</u>
Семестр	6
Кількість кредитів ECTS	3
Мова викладання, навчання та оцінювання	<u>українська</u>
Форма заключного контролю	<u>залік</u>

Викладачі: проф. Макарець М.В.

(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 – 2022**

<sup>1</sup> Робоча програма навчальної дисципліни є нормативним документом вищого навчального закладу і містить виклад конкретного змісту навчальної дисципліни, послідовність, організаційні форми її вивчення та їх обсяг, визначає форми та засоби поточного і підсумкового контролю.

Розробники<sup>2</sup>: Макарець М.В., професор, доктор фізико-математичних наук, професор, кафедра теоретичної фізики

(вказати авторів: ПІБ, науковий ступінь, вчене звання, посада, кафедра)

ЗАТВЕРДЖЕНО

Зав. кафедри теоретичної фізики

  
(підпис)


(Решетняк В.Ю.)  
(прізвище та ініціали)

Протокол № 19 від « 27 » травня 2022 р.

Схвалено науково - методичною комісією факультету/інституту<sup>3</sup>

Протокол № 11 від « 10 » червня 2022 року

Голова науково-методичної комісії

  
(підпис)

(Оліх О.Я.)  
(прізвище та ініціали)

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_ року

<sup>2</sup> Розробляється лектором. Робоча програма навчальної дисципліни розглядається на засіданні кафедри (циклової комісії – для коледжів), науково-методичної комісії факультету/інституту (радї навчального закладу - коледжу), підписується завідувачем кафедри (головою циклової комісії), головою науково-методичної комісії факультету/інституту (головою ради) і затверджується заступником декана/директора інституту з навчальної роботи (заступником директора коледжу).

<sup>3</sup> У випадку читання дисципліни, яка не є профільною для факультету чи інституту обов'язковим є погодження з науково-методичною комісією профільного факультету. У випадку економічних та юридичних наук погодження із предметною комісією з економічних та юридичних наук при Науково-методичній раді Університету.

**1. Мета навчальної дисципліни.** Курс класичної механіки покликаний поглибити знання, отримані в загальному курсі фізики, засвоїти її математичний апарат і на його основі – опанувати методи механіки Лагранжа, механіки Гамільтона та аналітичної механіки, різні представлення рівнянь руху систем матеріальних точок та абсолютно твердих тіл та основні рівняння теорії суцільного середовища, зокрема, пружних тіл, газів та рідин.

## **2. Попередні вимоги до опанування або вибору навчальної дисципліни:**

- Знати основні закони механіки, молекулярної фізики, електрики та магнетизму. Зокрема, закони Ньютона, інтеграли руху, закони взаємодії Ньютона, Кулона, Лоренца, закон Гука. Володіти апаратом математичного аналізу, лінійної алгебри та аналітичної геометрії, звичайних диференціальних рівнянь, теорії функцій комплексної змінної, основами векторного та тензорного числення, основами теорії поля. Оперувати виразами для градієнта, дивергенції, ротора та оператора Лапласа в криволінійних системах координат.

- Вміти застосовувати попередні знання з курсів математичного аналізу, лінійної алгебри та аналітичної геометрії, основ векторного та тензорного аналізу та диференціальних рівнянь для розв'язку алгебраїчних та диференціальних рівнянь та їх систем.

- Володіти навичками обчислення похідних, інтегралів, інтегралів залежних від параметра, дій над векторами, будувати графіки функцій, визначати та розкладувати функції в ряд Тейлора та по ортогональному базису, зокрема і ряд Фур'є. Володіти навичками представлення дельта-функції, Гама-функції, Бета-функції.

## **3. Анотація навчального предмету / референс:**

Нормативний предмет «Класична механіка» є складовою циклу професійної підготовки фахівців освітнього ступеня “бакалавр фізики”, “бакалавр астрономії” та “бакалавр оптотехніки” та базовою для вивчення всіх фізичних предметів. Програма курсу орієнтована на студентів, які вже знайомі з математичним аналізом, основами векторного та тензорного числення, загальними курсами механіки, молекулярної фізики, електрики, диференціальним численням.

Результати навчання полягають в знанні фундаментальних законів та у володінні методами класичної механіки. Зокрема, методами механіки Ньютона-Ейлера, механіки Лагранжа, механіки Гамільтона та аналітичної механіки. Знати закони руху суцільного середовища, моделі суцільного середовища та рівнянь їх руху. Також, як результат, студенти будуть ознайомлені з основними наближеннями рівнянь механіки та основними моделями поведінки суцільного середовища у зовнішньому полі.

Методи викладання: лекції, консультації, практичні заняття. Методи оцінювання: опитування в процесі практичних занять, контрольні роботи після основних розділів курсу, залік (3 семестр) та іспит (4 семестр). Підсумкова оцінка виставляється на основі проміжних оцінок (60%) та заліку, іспиту (40%).

**4. Завдання (навчальні цілі)** – освоєння студентами методів отримання, експериментального дослідження та теоретичного опису задач з курсу класичної механіки, зокрема, здатність студентами застосовувати знання у практичних ситуаціях для розрахунку руху взаємодіючих частинок та твердих тіл зовнішньому полі. Також здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями з курсу класичної механіки, здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел, в тому числі, електронних ресурсів, та здатність студентів до абстрактного мислення, аналізу та синтезу матеріалу із усіх фізичних предметів.

## ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

### Змістовий модуль 1 (Які теми відносяться до модуля 2?)

#### **Тема 1. Теорія груп та квантова механіка (2 год).**

Поняття операторів симетрії та вплив симетрії на рішення рівняння Шредингера.  
Означення групи та підгрупи симетрії квантово-механічної системи.  
Поняття представлення групи, еквівалентні та унітарні представлення.  
Ізоморфізм груп та представлення ізоморфних груп  
Звідні та незвідні представлення.  
Лема Шура та її наслідки.

#### **Тема 2. Точкові групи симетрії (2 год.).**

Означення точкової групи.  
Основні типи точкових груп та їх характеристики.  
Приклади молекул та геометричних фігур для кожного типу точкових груп.

#### **Тема 3. Основні поняття теорії представлень (4 год.).**

Співвідношення ортогональності для матричних елементів незвідних представлень та його наслідки.  
Поняття характеру представлення та співвідношення ортогональності для характерів.  
Критерій незвідності представлення.  
Розклад звідного представлення на незвідні.  
Ортогональність базисних функцій незвідних представлень.  
Поняття класу спряжених елементів, розбиття елементів групи на класи.  
Інваріантні підгрупи та фактор-група.  
Перетворення оператора та матриці оператора.  
Побудова базисних функцій та базисних матриць незвідних представлень.  
Прямий добуток представлень та його розклад на незвідні представлення.  
Правила відбору для матричних елементів.

#### **Тема 4. Неперервна група обертань (4 год).**

Обертання в тривимірному просторі. Оператор орбітального моменту.  
Загальний вигляд оператору обертання.  
Класифікація незвідних представлень неперервної групи обертань.  
Поняття спіну. Спін-орбітальна взаємодія.  
Побудова базисних функцій та матриць незвідних представлень неперервної групи обертань.  
Однозначні та двозначні представлення.  
Оператор відбивання в площині та оператор трансляції.

#### **Тема 5. Побудова незвідних представлень скінчених груп симетрії (2 год).**

Метод побудови незвідних представлень складних скінчених груп симетрії та їх базисних функцій. Застосування методу на прикладі основних точкових груп симетрії.

#### **Тема 6. Просторові групи симетрії кристалічних структур (2 год.)**

Трансляційна симетрія кристалів. Базисні вектори.  
Елементарна та примітивна комірки.  
Проста та складна кристалічні ґратки. Ґратки Браве.  
Елементи точкової симетрії кристалічної ґратки. Кристалічні сингонії та класи.  
Приклади кристалічних структур.  
Оператори симетрії просторових груп.  
Представлення групи трансляцій, функції Блоха.

Обернена гратка. Зони Бріллюена. Група хвильового вектора.  
Зірка хвильового вектора.  
Групи хвильового вектора для різних точок зони Бріллюена.

#### **Тема 7. Тензори в кристалах (3 год.).**

Метод визначення кількості незалежних компонент тензора та їх вигляду.  
Тензор діелектричної проникності, п'єзоелектричний тензор, тензор упругих сталих кристалу.  
Врахування симетрії тензора по відношенню до перестановки індексів.

#### **Тема 8. Метод ефективної маси та метод інваріантів (3 год.)**

Метод ефективної маси. Метод інваріантів та його застосування для визначення загального вигляду гамільтоніану методу ефективних мас.

#### **Тема 9. Інверсія часу (4 год.).**

Операція інверсії часу. Критерій додаткового виродження.  
Вплив інверсії часу на кількість інваріантів в гамільтоніані.  
Побудова гамільтоніану методом інваріантів з врахуванням інверсії часу для гексагональних та кубічних кристалів. Гамільтоніан Латтінжера.

#### **Тема 10. Побудова гамільтоніану для випадку екстремуму в довільній точці зони Бріллюена (2 год.).**

Критерій Херрінга.  
Розрахунок кількості інваріантів в гамільтоніані.  
Гамільтоніан методу ефективних мас для точки К зони Бріллюена графену.

#### **Тема 11. Малі коливання молекул (3 год.).**

Нормальні координати.  
Класифікація нормальних коливань за незвідними представленнями групи симетрії молекули.  
Колівання молекули  $\text{CHCl}_3$ .  
Правила відбору при ІЧ поглинанні.

#### **Тема 12. Малі коливання кристалічних ґраток (3 год.).**

Закон дисперсії для фононів в кристаллах.  
Фононні моди в точці  $q=0$  зони Бріллюена.  
Фонони в кристалах із структурою алмазу.  
Фонони в точці К зони Бріллюена графену.

### **Рекомендована література**

#### **Основна:**

1. Г.Я.Любарский. Теория групп и ее применение в физике. – Москва, 1957.
2. Дж.Эллиот, П.Добер. Симметрия в физике, в 2-х томах. - Москва, 1983.
3. П. І. Голод. Симетрія та методи теорії груп у фізиці.-К.,2005.
4. А.И.Ансельм. Введение в теорию полупроводников. - Москва, 1972.

#### **Додаткова:**

1. Ч.Киттель. Введение в физику твердого тела. - Москва, 1978.
2. Л.Д.Ландау, Е.М.Лифшиц. Квантовая механика. "Наука" 1979..

3. Г.Л.Бир, Г.Е.Пикус. Симметрия и деформационные эффекты в полупроводниках. – Москва, 1972.
4. П. Ю, М.Кардона. Основы физики полупроводников.-Москва, 2002.
5. Дж.Най. Физические свойства кристаллов.-Москва, 1960.
6. Е. Вигнер. Теория групп.-Москва, 1961.
7. Нокс Р., Голд А. Симметрия в твердом теле. – М.: Наука, 1970.
8. М. А. Ельяшевич. Атомная и молекулярная спектроскопия.- М, 1962.