

КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА

Фізичний факультет  
(назва факультету)

Кафедра ядерної фізики



РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Теорія груп та симетрії

(повна назва навчальної дисципліни)

для студентів

галузь знань

10 «Природничі науки»

(шифр і назва)

спеціальність

104 «Фізика та астрономія»

(шифр і назва спеціальності)

освітній рівень

магістр

(молодший бакалавр, бакалавр, магістр)

освітня програма

Фізика високих енергій

(назва освітньої програми)

вид дисципліни

обов'язкова

Форма навчання

денна

Навчальний рік

2021/2022

Семестр

1

Кількість кредитів ECTS

3

Мова викладання, навчання  
та оцінювання

українська

Форма заключного контролю

залік

Викладачі: канд. фіз.-мат. наук, Барабаш О.В.

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

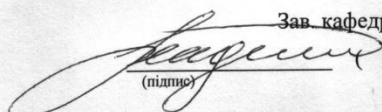
Пролонговано: на 20\_\_/20\_\_ н.р. \_\_\_\_\_ («\_\_» \_\_ 20\_\_ р.  
(підпис, ПІБ, дата)

на 20\_\_/20\_\_ н.р. \_\_\_\_\_ («\_\_» \_\_ 20\_\_ р.  
(підпис, ПІБ, дата)

на 20\_\_/20\_\_ н.р. \_\_\_\_\_ («\_\_» \_\_ 20\_\_ р.  
(підпис, ПІБ, дата)

КИЇВ – 2021

Розробники: Барабаш О.В., доцент, канд. фіз.-мат. наук

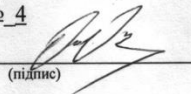
ЗАТВЕРДЖЕНО  
Зав. кафедри ядерної фізики  
  
(підпис) Каленко І.М. )  
(прізвище та ініціали)  
Протокол № 11 від «10» червня 2021 р.

**Схвалено науково - методичною комісією фізичного факультету**

Протокол від «22» червня 2021 року № 4

Голова науково-методичної комісії

(підпис)



( Оліх О.Я. )

(прізвище та ініціали)

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2021 року

## ВСТУП

### 1. Мета дисципліни - надання студентам

- необхідних глибоких та систематичних знань з курсу теорії симетрій;
- основних методів теорії груп, широкоживаних у фізиці високих енергій;
- основ теорії представлень, принципів, що зв'язують симетрії та закони збереження; властивостей груп, найбільш вживаних у фізиці високих енергій.

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

1. **Знати** основні принципи релятивістської квантової механіки та спеціальної теорії відносності, основи діаграмної техніки Фейнмана, основні положення та методи теорії груп.

2. **Вміти** розв'язувати типові задачі релятивістської квантової механіки, обраховувати перерізи розсіяння основних процесів квантової електродинаміки, використовувати методи теорії груп при аналізі законів збереження та типів реакції.

3. **Володіти навичками** опрацьовувати літературу, роботи з інтерактивними і мультимедійними засобами, взаємодії з колегами під час навчання.

**3. Анотація навчальної дисципліни:** теорія груп та симетрій є базовою математичною дисципліною, в рамках якої студенти оволодіють основними поняттями та методами теорії груп, навчатися використовувати симетрію системи для отримання фізичних результатів, таких як виродження та розщеплення енергетичних рівнів квантових систем в полях з різною симетрією, отримання правил відбору, класифікація елементарних частинок в моделях з різними типами симетрії, дослідження фізичних властивостей адронів (маси, магнітні моменти тощо).

**4. Завдання (навчальні цілі):** навчити студентів застосовувати методи діаграмної техніки та методи теорії груп при аналізі та обчисленні основних процесів в фізиці елементарних частинок, формування системи знань та застосування властивостей основних понять курсу для розв'язування практичних задач.

Згідно освітньо-наукової програми дисципліна забезпечує набуття здобувачами освіти наступних компетентностей:

*Інтегральну*

Здатність розв'язувати складні задачі і проблеми дослідницького та/або інноваційного характеру у фізиці та астрономії.

*загальних*

ЗК04.Здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями.

ЗК06.Здатність виявляти, ставити та вирішувати проблеми.

ЗК07.Здатність проведення досліджень на відповідному рівні.

*фахових:*

СК01.Здатність використовувати закони та принципи фізики у поєднанні із потрібними математичними інструментами для опису природних явищ.

СК05.Здатність сприймати новоздобуті знання в області фізики та астрономії та інтегрувати їх із уже наявними, а також самостійно опановувати знання і навички, необхідні для розв'язання складних задач і проблем у нових для себе деталізованих предметних областях фізики та астрономії й дотичних до них міждисциплінарних областях.

СК07.Здатність організовувати освітній процес та проводити практичні та лабораторні заняття з фізичних навчальних дисциплін в закладах вищої освіти.

СК10. Здатність використовувати знання й уміння в галузі практичного використання комп'ютерних технологій для дослідження процесів в ФВЕ.

СК12. Здатність застосовувати знання теорій опису фізичних властивостей елементарних частинок та процесів взаємодії.

### 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 положення релятивістської квантової механіки та квантової теорії поля	• лекції • самостійна робота	• контрольні роботи • тематичний контроль самостійної роботи • залікова робота	8
1.2	основні положення теорії груп			8
1.3	теорію представлень			8
1.4	основи діаграмної техніки Фейнмана			8
1.5	основні властивості унітарних груп та їх алгебр			8
Загалом:				40
2. Вміти				
2.1	записувати діаграми Фенмана для основних процесів за участю елементарних частинок	• лекції • самостійна робота	• контрольні роботи • колоквіум • тематичний контроль самостійної роботи • залікова робота	8
2.2	знаходити можливі кратності виродження рівнів квантових систем у зовнішньому полі			8
2.3	вміти розкласти звідні представлення на незвідні компоненти			8
2.4	проводити класифікацію квантових систем у зовнішньому полі			8
2.5	отримувати закони збереження з аналізу симетрії гамільтоніану			8
Загалом:				40
3. Комунікація				
3.1	здатність бути активним учасником обговорень	• лекції • самостійна робота	• контрольні роботи • тематичний контроль самостійної роботи	3
3.2	презентувати результати самостійної роботи у форматі усних та/або письмових			4

	повідомлень із/без використання наочних засобів		● залікова робота	
3.3	майстерність методологічного сумніву висловленої позиції колег та/або авторитетного джерела			3
Загалом:				10
4. Автономність та відповідальність				
4.1	віднаходити необхідну інформацію з різних джерел	● лекції ● самостійна робота	● контрольні роботи ● тематичний контроль самостійної роботи ● залікова робота	4
4.2	застосовувати отримані знання в професійній діяльності			3
4.3	демонструвати вміння працювати в колективі та самостійно			3
Загалом:				10

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

Програмні результати навчання \ Результати навчання дисципліни	1					2					3			4		
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	1	2	3
<b>РН03.</b> Застосовувати сучасні теорії наукового менеджменту та ділового адміністрування для організації наукових та прикладних досліджень в області фізики та астрономії.															+	+
<b>РН06.</b> Обирати ефективні математичні методи та інформаційні технології та застосовувати їх для здійснення досліджень та/або інновацій в області фізики та астрономії.	+	+	+	+	+										+	
<b>РН10.</b> Відшукувати інформацію і дані, необхідні для розв'язання складних задач фізики та астрономії, використовуючи різні джерела, наукові видання, наукові бази даних тощо, оцінювати та критично аналізувати отримані інформацію та дані.															+	+
<b>РН12.</b> Розробляти та застосовувати ефективні алгоритми та спеціалізоване програмне забезпечення для дослідження моделей фізичних та астрономічних об'єктів і процесів, обробки результатів експериментів і спостережень.							+	+	+	+	+					
<b>РН13.</b> Створювати фізичні, математичні і комп'ютерні моделі природних об'єктів та							+		+							

явищ, перевіряти їх адекватність, досліджувати їх для отримання нових висновків та поглиблення розуміння природи, аналізувати обмеження.																	
<b>РН14.</b> Розробляти та викладати фізичні навчальні дисципліни у закладах вищої, фахової передвищої, професійної (професійно-технічної), загальної середньої та позашкільної освіти, застосовувати сучасні освітні технології та методики, здійснювати необхідну консультативну та методичну підтримку здобувачів освіти.											+		+				
<b>РН15.</b> Планувати наукові дослідження з урахуванням цілей та обмежень, обирати ефективні методи дослідження, робити обґрунтовані висновки за результатами дослідження.												+					
<b>РН18.</b> Застосовувати сучасні методи програмування на мові C, C++ та Python з пакетом ROOT для розв'язування конкретних задач у фізиці високих енергій.																+	
<b>РН20.</b> Вміти використовувати віртуальний детектор для обчислення акцептанта реєстрації подій та ефективності реєстрації частинок, адронних струменів, та інших процесів.																+	
<b>РН22.</b> Вміти формулювати основні фізичні принципи процесів на кварковому рівні.	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+							
<b>РН23.</b> Вміти встановлювати причинно-наслідковий зв'язок між статичними та динамічними характеристиками частинок.	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+							
<b>РН24.</b> Проводити аналітичні та чисельні методи опису кінетики процесу взаємодії і розпаду частинок.						+				+							

## 7. Схема формування оцінки.

Контроль знань здійснюється за системою ECTS, яка передбачає дворівневе оцінювання засвоєного матеріалу, зокрема:

- **оцінювання теоретичної підготовки**  
(результати навчання: **знати** 1.1 – 1.6), що складає 40% від загальної оцінки;
- **оцінювання практичної підготовки**  
(результати навчання: **вміти** 2.1-2.6; **комунікація** 3.1-3.6; **автономність та відповідальність** 4.1-4.6), що складає 60% загальної оцінки.

### 7.1 Форми оцінювання студентів:

- **семестрове оцінювання** розмежоване поміж лекційними заняттями та самостійною роботою. Загалом форми викладання і навчання проводяться у форматі усних та письмових завдань, обов'язкову кількість яких оцінюють різною кількістю балів:

- *min* – найменша кількість балів (їх отримання є свідченням, що студент приділив недостатньо уваги окремому завданню)
- *max* – висока кількість балів (їх отримання є свідченням, що студент приділив достатньо уваги та самоорганізації для опрацювання теми)

Форми викладання і навчання	Форми контролю	Результати навчання	Кількість балів	
			min	max
Лекційні заняття	Модульний контроль	1.1-1.5 2.1-2.5 3.1-3.3 4.1-4.3	16	40
Самостійна робота	Виконання домашніх завдань	1.1-1.5 2.1-2.5 3.1-3.3 4.1-4.3	8	20
Загалом за роботу у семестрі			24	60

- **відпрацювання пропусків** практичних занять, всі пропуски студентом без поважної причини повинні бути відпрацьовані у формі розв'язку задач по пропущеній темі.
- **допуском студента до підсумкового оцінювання** є виконання обов'язкових самостійних завдань, відпрацювання пропусків практичних занять та набирання мінімальної **(24)** кількості балів.
- **підсумкове оцінювання у формі заліку** здійснюється у формі усного опитування та письмового розв'язку запропонованих задач. Загальна кількість балів за залік складає 40 балів (20 +4+6+10). Заліковий білет включає два теоретичних питання і два практичних. Оцінка за письмову роботу вноситься у залікову відомість тільки якщо вона рівна або більша 24 балам (тобто від 34 до 40). Якщо загальна оцінка за письмову роботу буде меншою 24 балів, тоді у залікову відомість вноситься 0 балів і залік є нескладеним і загальна оцінка за навчальну дисципліну є «незадовільною».

## 7.2 Організація оцінювання:

Форма оцінювання	Форми викладання і навчання	Форми контролю	Графік оцінювання	
			конкретизований	загальний
Семестрова	Лекційні заняття	Модульний контроль	I-ий семестр в кінці Жовтня	Впродовж теоретичного навчання у семестрі
	Самостійна робота	Виконання домашніх завдань	В рамках теоретичного навчання, до початку семестрового контролю	
Підсумкова	Письмова робота	Залікова робота	Залежно від графіку навчання	Впродовж семестрового контролю

## 7.3 Шкала відповідності оцінок

Відмінно / Excellent	90-100
Добре / Good	75-89

<b>Задовільно / Satisfactory</b>	60-74
<b>Незадовільно / Fail</b>	0-59
<b>Зараховано / Passed</b>	60-100
<b>Не зараховано / Fail</b>	0-59



## ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

### Змістовий модуль 1 Предмет та методи теорії груп.

**Тема 1.** Основні положення теорії груп ..... (15 год.)  
Означення групи, підгрупи. Ізоморфні групи. Гомоморфізм груп. Абелева та неабелева групи. Розклад групи на суміжні класи. Теорема Лагранжа. Інваріантні підгрупи, факторгрупа. Представлення груп, еквівалентні представлення, унітарні. Звідність представлення. Інваріантні підпростори. Регулярне представлення. Прямий добуток представлень та його розклад на незвідні представлення. Лема Шура. Симетрії в класичній та квантовій фізиці. Симетрії лагранжіану та закони збереження. Теорема Ньотер. Закони збереження в квантовій механіці. Неабелеві симетрії гамільтоніану та виродження рівнів. Класифікація вироджених рівнів за типом незвідного представлення.

### Змістовий модуль 2 Матричні групи.

**Тема 2.** Групи Лі.....(15 год.)

Матричні групи  $GL(n, \mathbb{C})$ ,  $SL(n, \mathbb{C})$ ,  $U(n)$ ,  $SU(n)$ ,  $O(n)$ ,  $SO(n)$ , розмірність груп, неперервні групи з дискретними параметрами, однозв'язні/неоднозв'язні групи, компактні/некомпактні. Неперервні групи, групи Лі. Генератори групи. Групова алгебра, структурні константи, підалгебри. Компактні та некомпактні групи Лі. Групи координатних перетворень. Група Лоренца та група Пуанкаре. Структура (топологія) та представлення груп  $SU(2)$  та  $SO(3)$ . Локальний ізоморфізм груп. Алгебра груп. Група Пуанкаре та фізика елементарних частинок. Однозначні та двозначні незвідні представлення. Групова алгебра. Дискретні симетрії, невласні лоренцеві перетворення. Властивості одночастинкових хвильових функцій при невласних лоренцевих перетвореннях. Внутрішня парність, обернення часу та теорема Крамерса.

# СТРУКТУРА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

## ТЕМАТИЧНИЙ ПЛАН ЛЕКЦІЙ І СЕМІНАРСЬКИХ ЗАНЯТЬ

№ п/п	Назва лекції	Кількість годин		
		лекції	семінари	С/Р
Змістовий модуль 1 Предмет та методи теорії груп				
1	Тема 1 Основні положення теорії груп	15	0	30
Змістовий модуль 2 Матричні групи				
4	Тема 2 Групи Лі	15	0	30
	ВСЬОГО	30	0	60

Загальний обсяг **90** год, в тому числі:

Лекцій – **30** год.

Семінари – **0** год.

Самостійна робота - **60** год.

### РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА.

#### *Основна:*

1. Хамермеш М. Теория групп и ее применение к физическим проблемам. - М., Мир, 1966. – 588с.
2. Ландау Л.Д, Лифшиц Е.М. Квантовая механика, т. 3, глава 8 – Теория симметрии. - М.: Наука, 1989.

#### *Додаткова:*

1. Greiner W., Reinhart J. Quantum elektrodynamics.Springer, 2003.
2. Любарский Г.Я. Теория групп и ее применения в физике. 4-е изд. - М.: Наука, 1968. – 268 с.
3. Вайнберг С. Квантовая теория поля. Т.1. Общая теория. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. - 648 с.

Додаток.

## **ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 1**

Предмет та методи теорії груп

**ТЕМА 1. Основні положення теорії груп – (\_15\_ год.)**

**Лекція 1-2. Означення груп – 3 год.**

Означення груп, приклади. Підгрупи. Ізоморфні групи. Гомоморфізм груп. Абелева та неабелева групи. Розклад групи на суміжні класи. Теорема Лагранжа. Інваріантні підгрупи, факторгрупа.

**Лекція 3-4. Представлення груп – 4 год.**

Представлення груп, еквівалентні представлення, унітарні. Звідність представлення. Інваріантні підпростори. Регулярне представлення. Прямий добуток представлень та його розклад на незвідні представлення. Лема Шура.

**Лекція 5-6. Симетрії в фізиці – 4 год.**

Симетрії в класичній та квантовій фізиці. Симетрії лагранжіану та закони збереження. Теорема Ньотер.

**Лекція 7-8. Методи теорії груп в фізиці – 4 год.**

Закони збереження в квантовій механіці. Неабелеві симетрії гамільтоніану та виродження рівнів. Класифікація вироджених рівнів за типом незвідного представлення.

## **ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 2**

Матричні групи

**ТЕМА 2. Групи Лі – (\_15\_ год.)**

**Лекція 9-10. Основні матричні групи – 3 год.**

Матричні групи  $GL(n, \mathbb{C})$ ,  $SL(n, \mathbb{C})$ ,  $U(n)$ ,  $SU(n)$ ,  $O(n)$ ,  $SO(n)$ , розмірність груп, неперервні групи з дискретними параметрами, однозв'язні/неоднорозв'язні групи, компактні/некомпактні.

**Лекція 11-12. Неперервні групи, групи Лі – 4 год.**

Неперервні групи, групи Лі. Генератори групи. Групова алгебра, структурні константи, підалгебри. Компактні та некомпактні групи Лі. Групи координатних перетворень. Група Лоренца та група Пуанкаре.

**Лекція 13-14. Групи  $SU(2)$  та  $SO(3)$  – 4 год.**

Структура (топологія) та представлення груп  $SU(2)$  та  $SO(3)$ . Локальний ізоморфізм груп. Алгебра груп.

**Лекція 15-17. Група Пуанкаре та фізика елементарних частинок – 4 год.**

Група Пуанкаре та фізика елементарних частинок. Однозначні та двозначні незвідні представлення. Групова алгебра. Дискретні симетрії, невласні лоренцеві перетворення. Властивості одночастинкових хвильових функцій при невласних лоренцевих перетвореннях. Внутрішня парність, обернення часу та теорема Крамерса.

***Контрольні питання:***

1. Означення групи. Підгрупи.
2. Що таке абелева/неабелева група, дискретна/неперервна, компактна/некомпактна група?
3. Представлення груп. Звідність представлення.
4. Умови незвідності представлення. Лема Шура.
5. Розклад звідного представлення на незвідні.
6. Зв'язок законів збереження з симетрією лагранжіану. Теорема Ньотер.
7. Закони збереження в квантовій механіці. Неабелеві симетрії гамільтоніану та виродження рівнів.
8. Класифікація вироджених рівнів за типом незвідного представлення.
9. Основні матричні групи. Розмірність групи.
10. Неперервні групи з дискретними параметрами.
11. Однозв'язні/неоднозв'язні групи, компактні/некомпактні.
12. Означення груп Лі.
13. Генератори групи. Групова алгебра, структурні константи, підалгебри.
14. Компактні та некомпактні групи Лі. Групи координатних перетворень.
15. Група обертань та її топологія.
16. Локальний ізоморфізм груп  $SU(2)$  та  $SO(3)$ . Універсальна накриваюча група  $SU_2$
17. Група Пуанкаре. Однозначні та двозначні незвідні представлення групи.
18. Групова алгебра. Дискретні симетрії, невласні лоренцеві перетворення.
19. Властивості одночастинкових хвильових функцій при невласних лоренцевих перетвореннях. Внутрішня парність, обернення часу та теорема Крамерса.

***Поза аудиторна робота студентів:***

1. Геометричні симетрії: поворот, відбиття, інверсія, дзеркальний поворот. Операції з ними та їх властивості. Спряженні елементи, розбиття на класи.
2. Група перестановок та її властивості, розбиття на цикли, добуток перестановок. Спряженні перестановки. Теорема Келі.
3. Групи правильних багатогранників, точкові групи.
4. Прямий добуток представлень та його розклад на незвідні представлення.
5. Характери незвідних представлень, їх властивості. Розклад звідного представлення на незвідні.
6. Вектори та псевдовектори, симетричні тензори. Незвідні представлення, правила відбору.
7. Класифікація вироджених рівнів за типом незвідного представлення. Правила відбору для матричних елементів. Розщеплення рівнів під дією збурення.
8. Фундаментальні взаємодії та елементарні частинки. Класифікація елементарних частинок. Типи взаємодій. Покоління кварків і лептонів. Кваркова структура

адронів. Закони збереження в процесах з елементарними частинками. Екзотичні адрони. Бозон Хігса.

9. С-, Р-, Т-перетворення та правила відбору по парності.
10. Прості та напівпрості групи. Група обертань та її топологія, універсальна накриваюча група  $SU_2$ .