

КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА

Фізичний факультет

(назва факультету)

Кафедра теоретичної фізики



«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Заступник декана/директора
навчальної роботи

Сергій Олександрович
«15» серпня 2022 року

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ¹
Додаткові розділи квантової механіки

(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 бакалавр
(молодший бакалавр, бакалавр, магістр)

освітня програма фізика
(назва освітньої програми)

спеціалізований
вибірковий блок Квантові комп'ютери, обчислення та інформація, Теоретична
фізика
(за наявності) (назва)

вид дисципліни вибіркова

Форма навчання	<u>денна</u>
Навчальний рік	<u>2022/2023</u>
Семестр	<u>7</u>
Кількість кредитів ECTS	<u>4</u>
Мова викладання, навчання та оцінювання	<u>українська</u>
Форма заключного контролю	<u>залік</u>

Викладач: Анчишкін Д.В.

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

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

КИЇВ – 2022

¹ 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.

Розробники²: Анчишкін Д.В., докт. фіз.-мат. наук, старший науковий співробітник, провідний науковий співробітник Інституту теоретичної фізики ім. М.М.Боголюбова НАН України.
(вказати авторів: ПІБ, науковий ступінь, вчене звання, посада, кафедра)

ЗАТВЕРДЖЕНО

Зав. кафедри Теоретичної фізики

Решетняк В.Ю.

(підпис)

(Решетняк В.Ю.)

(прізвище та ініціали)

Протокол № 15 від «22» Травня 2022 р.

Схвалено науково - методичною комісією факультету/інституту³

Протокол від «10» серпня 2022 року № 11

Голова науково-методичної комісії Оліх О.Я.

(підпис)

(Оліх О.Я.)

(прізвище та ініціали)

« » 20 року

² 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 ради) і затверджується заступником декана/директора інституту з навчальної роботи (заступником директора коледжу).

³ 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.

ВСТУП

1. Мета дисципліни – Метою курсу є оволодіння знаннями спеціальних методів теоретичної фізики, які необхідні студентам-теоретикам для творчого розв'язування складних фізичних задач із використанням сучасних методів та підходів.

2. Попередні вимоги до опанування або вибору навчальної дисципліни:

- Знати основні закони квантової механіки, математичного аналізу, звичайні диференціальні рівняння, основи математичної фізики. Зокрема, знати рівняння Ейлера-Лагранжа, функцію Гріна для диференціальних рівнянь, теореми Остроградського-Гаусса та Стокса, поліноми Лежандра, сферичні функції (гармоніки), циліндричні функції, функції Бесселя, Ганкеля, Неймана та Макдональда. Пам'ятати вирази для градієнта, дивергенції, ротора та оператора Лапласа в циліндричній та сферичній системах координат.
- Вміти застосовувати попередні знання з курсів математичного аналізу, математичної фізики, основ векторного та тензорного аналізу та диференціальних рівнянь для розв'язку алгебраїчних та диференціальних рівнянь та систем.
- Володіти елементарними навичками обчислення похідних, інтегралів, дій над операції з векторами, графічно будувати графіки функцій, визначати та розкладувати функції в ряд та інтеграл Фур'є. Вільно володіти навичками представлення дельта-функції, Гама-функції, Бета-функції.

3. Анотація навчальної дисципліни / референс:

Дисципліна «Фейнманівський інтеграл по траєкторіям у квантовій механіці (Додаткові розділи квантової механіки)» є складовою професійної підготовки фахівців освітньо-кваліфікаційного рівня “бакалавр фізики” та базовою для вивчення теоретичної фізики. Програма курсу орієнтована на студентів, які вже знайомі з математичним аналізом, основами векторного та тензорного аналізу, загальним курсом механіки, електрики, оптики, диференціальним численням. Результати навчання полягають в знанні фундаментальних законів квантової механіки, теорії квантових переходів, представлення амплітуди переходу через інтеграл по траєкторіям, застосування цього представлення для отримання наближень при взаємодії з зовнішнім полем так і у системах взаємодіючих частинок. Також, як результат, студенти ознайомлені з основними наближеннями рівнянь квантової механіки та основними моделями поведінки частинок у зовнішньому полі, а також здатні розв'язувати складні спеціалізовані задачі та практичні проблеми з фізики у професійній діяльності або у процесі подальшого навчання, що передбачає застосування певних теорій і методів фізики і характеризується складністю та невизначеністю умов. Методи викладання: лекції, консультації, практичні заняття. Методи оцінювання: опитування в процесі практичних занять, контрольні роботи. Підсумкова оцінка виставляється на основі проміжних оцінок (40%), іспиту (60%).

4. Завдання (навчальні цілі) – освоєння студентами методів отримання, експериментального дослідження та теоретичного опису задач з курсу квантової механіки, зокрема, здатність студентами застосовувати знання у практичних ситуаціях для розрахунку динаміки частинок при взаємодії з зовнішнім полем, амплітуд та ймовірностей переходів. Також здатність вчитися й оволодівати сучасними знаннями з курсу квантової 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 з всіх фізичних дисциплін.

Згідно вимог проекту Стандарту вищої освіти України (перший (бакалаврський) рівень вищої освіти (сьомий рівень НРК України), галузь знань 10 «Природничі науки», спеціальність 104 «Фізика та астрономія», ОПП "Фізика", дисципліна забезпечує набуття здобувачами освіти наступних *компетентностей*:

інтегральної:

- Здатність розв'язувати складні спеціалізовані задачі та практичні проблеми з фізики у професійній діяльності або у процесі подальшого навчання, що передбачає застосування певних теорій і методів фізики і характеризується складністю та невизначеністю умов.

загальних:

- Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу (ЗК1).
- Здатність бути критичним і самокритичним (ЗК4.).

фахових:

- Знання і розуміння теоретичного та експериментального базису сучасної фізики (ФК1).
- Здатність оцінювати порядок величин у різних дослідженнях, так само як точності та значимості результатів (ФК3).
- Здатність виконувати обчислювальні експерименти, використовувати чисельні методи для розв'язування фізичних задач і моделювання фізичних систем (ФК5).
- Здатність працювати з джерелами навчальної та наукової інформації (ФК9).

5. Результати навчання за дисципліною:

Результат навчання (1. знати; 2. вміти; 3. комунікація; 4. автономність та відповідальність)		Методи викладання і навчання	Методи оцінювання	Відсоток у підсумковій оцінці з дисципліни
Код	Результат навчання			
1	1.1 Основи квантової механіки в поданні Шредінгера: Оператор еволюції. Оператори координати та імпульсу. Вектори станів. Амплітуди переходу в операторній формулюванні квантової механіки.	Лекція, практичне заняття	Задачі, усні відповіді	2,5
	1.2 Амплітуда переходу у формі фейнманівського інтегралу (імпульсне представлення).	Лекція, практичне заняття	Задачі, усні відповіді	2,5
	1.3 Амплітуда переходу у формі фейнманівського інтегралу (координатне представлення).	Лекція, практичне заняття	Модульна контрольна робота	2,5
	1.4 Амплітуда переходу для вільної частинки у формі фейнманівського інтегралу.	Лекція, практичне заняття	Задачі, усні відповіді	2,5
	1.5 Квантовий осцилятор, хвильові функції для осцилятора, амплітуда переходу для осцилятора.	Лекція, практичне заняття	Модульна контрольна робота	2,5
	1.6 Представлення амплітуди переходу через інтеграл по траєкторіям для гармонічного осцилятора під дією зовнішньої сили (зовнішнього струму).	Лекція, практичне заняття	Задачі, усні відповіді	2,5
	1.7 Запізнювальна і випереджаюча функції Гріна вільного рівняння Шредінгера.	Лекція, практичне заняття	Задачі, усні відповіді	2,5
	1.8 Диференційне рівняння для оператора еволюції у представленні інтеграла по траєкторіям.	Лекція, практичне заняття	реферат	2,5
	1.9 Амплітуда переходу в квазікласичному наближенні і інтеграла по траєкторіям. ВКБ наближення.	Лекція, практичне заняття	Модульна контрольна робота	2,5

1.10 Вивід правила квантування Бора – Зоммерфельда з інтегралу по траєкторіям в конфігураційному просторі.	Лекція, практичне заняття	Задачі, усні відповіді	12,5
1.11 Метод стаціонарної фази для звичайного інтегралу (модель самодії ϕ -4) та інтегралів по траєкторіям.	Лекція, практичне заняття	Задачі, усні відповіді	2,5
1.12. Інтеграл по траєкторіям і квантування в обмеженому просторі. Частинка в прямокутній ямі або на колі.	Лекція, практичне заняття	Задачі, усні відповіді	2,5
1.13 Представлення функцій Гріна з хронологічним упорядкуванням через інтеграл по траєкторіям, приклад гармонічного осцилятора з постійною частотою.	Лекція, практичне заняття	Задачі, усні відповіді	2,5
1.14 Функції Гріна для гармонічного осцилятора з постійною частотою з зовнішнім током.	Лекція, практичне заняття	Задачі, усні відповіді	2,5
1.15 Ангармонічний осцилятор. Теорія збурень для інтегралу по траєкторіям для ангармонічного осцилятора з постійною частотою.	Лекція, практичне заняття	Самостійна робота	2,5

6. Співвідношення результатів навчання дисципліни із програмними результатами навчання (необов'язково для вибіркових дисциплін)

Результати навчання дисципліни	1	2
Програмні результати навчання		
1.ПРН1. 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	+	+
2.ПРН4. 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.	+	+
3.ПРН8. Мати базові навички самостійного навчання: вміти відшукувати потрібну інформацію в друкованих та електронних джерелах, аналізувати, систематизувати, розуміти, тлумачити та використовувати її для вирішення наукових і прикладних завдань.	+	+
4. ПРН9. Мати базові навички проведення теоретичних та/або	+	+

експериментальних наукових досліджень з окремих спеціальних розділів фізики або астрономії, що виконуються індивідуально (автономно) та/або у складі наукової групи.		
--	--	--

7. Структура курсу

Курс складається з 2-х змістових модулів у 7-му семестрі.

8. Схема формування оцінки:

8.1 Форми оцінювання студентів: (зазначається перелік видів робіт та форм їх контролю / оцінювання із зазначенням Min. – рубіжної та Max. кількості балів чи відсотків)

- семестрове оцінювання 4 семестр:

1. Модульна контрольна робота РН 1.4 (10 балів).
2. Модульна контрольна робота РН 2.2 (10 балів).
3. Реферат РН 1.2,2.1 (5 балів, 5 балів, відповідно).
4. Задачі, усні відповіді (10 балів).

- підсумкове оцінювання у формі заліку¹.

	ЗМ1	ЗМ2	залік	Підсумкова оцінка
<i>Мінімум</i>	<u>12</u>	<u>12</u>	<u>36</u>	<u>60</u>
Максимум	<u>20</u>	<u>20</u>	<u>60</u>	<u>100</u>

Студент не допускається до заліку, якщо під час семестру набрав менше **24 бала**.²

Оцінка за залік не може бути меншою **36 балів** для отримання загальної позитивної оцінки за курс.

Отже,

1. підсумкове оцінювання у формі заліку. На заліку максимально можна отримати **60 балів**.
2. умови допуску до заліку:
 - здати розв'язок не менше **30 %** обов'язкових задач, що виносяться на самостійну роботу;
 - пройти письмову перевірку знань та розумінь основних означень та формул інтегралу по траєкторіям у формі диктанта.

1. Модульна контрольна робота РН 1.3 (10 балів).
2. Модульна контрольна робота РН 2.10 (10 балів).
3. Самостійна робота РН 2.3 (10 балів).

¹ Семестрову кількість балів формують бали, отримані студентом у процесі теоретичного засвоєння матеріалу з усіх розділів дисципліни, семінарських занять, виконання практичних, лабораторних, індивідуальних, підсумкових контрольних робіт, творчих робіт впродовж семестру, передбачених робочою навчальною програмою (якщо дисципліна завершується екзаменом (заліком), то розподіл здійснюється за таким алгоритмом: **40 балів (40%) – семестровий контроль і 60 балів (60%) – екзамен (залік)**).

² У випадку, коли дисципліна завершується екзаменом (заліком) не менше – **20 балів**, а рекомендований мінімум **не менше 24 балів**, оскільки якщо студент на екзамені (заліку) набрав менше **36 балів** (а це 60% від 60 балів, відведених на екзамен (залік)), то вони **не додаються** до семестрової оцінки незалежно від кількості балів, отриманих під час семестру, а в екзаменаційній (заліковій) відомості у графі «результуюча оцінка» переноситься лише кількість балів, отриманих під час семестру.

4. Задачі, усні відповіді (10 балів).

	ЗМ1	ЗМ2	іспит	Підсумкова оцінка
<i>Мінімум</i>	<u>12</u>	<u>12</u>	<u>36</u>	<u>60</u>
Максимум	<u>20</u>	<u>20</u>	<u>60</u>	<u>100</u>

Студент не допускається до іспиту, якщо під час семестру набрав менше **24 бала**.

Оцінка за іспит не може бути меншою **36 балів** для отримання загальної позитивної оцінки за курс.

Отже,

- 1. підсумкове оцінювання у формі іспиту. На іспиті максимально можна отримати 60 балів.**
- 2. умови допуску до іспиту:**
 - здати розв'язок не менше **30 %** обов'язкових задач, що виносяться на самостійну роботу;
 - пройти письмову перевірку знань та розумінь основних означень та формул інтегралу по траєкторіям у формі диктанта.

8.2 Організація оцінювання: (обов'язково зазначається порядок організації передбачених робочою навчальною програмою форм оцінювання із зазначенням орієнтовного графіку оцінювання).

Контроль здійснюється за модульно-рейтинговою системою, яка складається із 4 змістових модулів (2 модулі в четвертому та 2 модулі в п'ятому семестрах). Система оцінювання знань включає поточний, модульний та семестровий контроль знань. Результати навчальної діяльності студентів оцінюються за 100-бальною шкалою незалежно в четвертому і п'ятому семестрах. Форми поточного контролю: оцінювання домашніх робіт, письмових самостійних завдань, тестів та контрольних робіт, виконаних студентами під час практичних занять. Студент може отримати максимально 40 балів за виконання домашніх робіт, самостійних завдань, усні відповіді, тести, доповнення на практичних заняттях в четвертому семестрі (по 20 балів в кожному змістовому модулі) та 40 балів в п'ятому семестрі (по 20 балів в кожному змістовому модулі). Модульний контроль: 4 модульні контрольні роботи (2 роботи в четвертому та 2 роботи у п'ятому семестрах). Студент може отримати максимально за модульні контрольні роботи 20 балів в четвертому семестрі і 20 балів в п'ятому семестрі (по 10 балів за кожену роботу). Підсумковий семестровий контроль проводиться у формі заліку (60 балів) в четвертому семестрі та іспиту (60 балів) в п'ятому семестрі. Екзаменаційний білет включає 2 теоретичні питання (по 20 балів) та задачу (20 балів).

Шкала відповідності оцінок

Відмінно / Excellent	90-100
Добре / Good	75-89
Задовільно / Satisfactory	60-74
Незадовільно з можливістю повторного складання / Fail	35-59
Незадовільно з обов'язковим повторним вивченням дисципліни / Fail	0-34
Зараховано / Passed	60-100
Не зараховано / Fail	0-59
Відмінно / Excellent	90-100
Добре / Good	75-89

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

СТРУКТУРА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ
Тематичний план лекцій, практичних занять та самостійних робіт

VII СЕМЕСТР

№ теми	Назва лекції	Кількість годин			
		лекції	Практичні заняття	Консультація	Самостійна робота
1	Оператори координати та імпульсу. Вектори станів. Основи квантової механіки в поданні Шредінгера. Амплітуди переходу в операторній формулюванні.	1	2		5
2	Амплітуда переходу у формі фейнманівського інтегралу (імпульсне представлення).	1	2		5
3	Амплітуда переходу у формі фейнманівського інтегралу (координатне представлення). Методи розв'язання задач.	1	2		5
4	Амплітуда переходу для вільної частинки у представленні інтегралу по траєкторіям.	1	2		5
	Модульна контрольна робота 1		2		
5	Квантовий осцилятор, хвильові функції для осцилятора, амплітуда переходу для осцилятора.	1	2		5
6	Представлення амплітуди переходу через інтеграл по траєкторіям для гармонічного осцилятора під дією зовнішнього струму.	1	2		5
7	Запізнювальна і випереджаюча функції Гріна вільного рівняння Шредінгера.	1	2		5
8	Диференціальне рівняння для оператора еволюції у представленні інтеграла по траєкторіям.	1	2		5
9	Амплітуда переходу в квазікласичному наближенні і інтеграли по траєкторіям. ВКБ наближення.	1	2		5
10	Вивід правила квантування Бора – Зоммерфельда з інтегралу по траєкторіям в конфігураційному просторі.		2	1	5
11	Метод стаціонарної фази для звичайного інтегралу (модель самодії ϕ^4) та інтегралів	1	2		5

	по траєкторіям.				
12	Інтегралы по траєкторіям і квантування в обмеженому просторі. Частинка в прямокутній ямі або на колі.	1	2		5
13	Представлення функцій Гріна з хронологічним упорядкуванням через інтеграл по траєкторіям, приклад гармонічного осцилятора з постійною частотою.	1	2		5
14	Функції Гріна для гармонічного осцилятора з постійною частотою з зовнішнім током.	1	2		5
15	Ангармонічний осцилятор. Теорія збурень для інтегралу по траєкторіям для ангармонічного осцилятора с постійною частотою.	1	2		5
Модульна контрольна робота 2			2		
Всього		14	30	1	75

Загальний обсяг 120 год³, в тому числі (вибрати необхідне):

Лекцій – **14 год.**

Семінари – *год.*

Практичні заняття - **30 год.**

Лабораторні заняття - _____ год.

Тренінги - _____ год.

Консультації - **1** год.

Самостійна робота – **75 год.**

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА:

Основна : (Базова)

1. А.М. Ермолаев, Г.И. Рашба, ЛЕКЦИИ ПО КВАНТОВОЙ СТАТИСТИКЕ И КИНЕТИКЕ, 1. Основные понятия квантовой механики, Учебно-методическое пособие, Харьков 2007.
2. M. Chaichian, A. Demichev, Path integral in Physics, Vol. 1, IoP, 2001
3. H. Kleinert, Path integral in Quantum Mechanics, Statistics, Polymer Physics, Vol. 1 and 2, 2002.
4. Wipf, Path Integrals. 2002

Додаткова

5. Р. Фейнман, А. Хіббс, Квантова механіка та інтегралы по траєкторіям. – М. Фізматліт. 1995
6. Зінн-Жюстен, Континуальний інтеграл в квантовій механіці. – М. Фізматліт. 2006

³ Загальна кількість годин, відведених на дану дисципліну згідно навчального плану.