

Міністерство освіти і науки України

Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна

Кафедра теоретичної фізики імені академіка І.М.ліфшиця

**“ЗАТВЕРДЖУЮ”**

Декан факультету (директор  
навчально-наукового інституту)  
фізичний факультет

(вказати назву структурного підрозділу)

ВОВК Руслан Володимирович

(вказати П.І.Б керівника)

“ 30 ” 08 2024р.



Робоча програма навчальної дисципліни

**Математичні методи теоретичної фізики**

(назва навчальної дисципліни)

рівень вищої освіти бакалавр

галузь знань 10 Природничі науки  
(шифр і назва)

спеціальність 104 – Фізика та астрономія  
(шифр і назва)

освітня програма “Фізика”  
(шифр і назва)

спеціалізація \_\_\_\_\_  
(шифр і назва)

вид дисципліни за вибором  
(обов’язкова / за вибором)

факультет фізичний

Програму рекомендовано до затвердження Вченою радою фізичного факультету

“ 30 ” 08 2024 року, протокол № 9

**РОЗРОБНИКИ ПРОГРАМИ:**

**Рашба Георгій Ілліч, канд. фіз.-мат. наук, доцент**

**Апостолов Станіслав Сергійович, д. фіз.-мат. наук, доцент**

Програму схвалено на засіданні кафедри

теоретичної фізики імені академіка. М. Ліфшиця

Програму схвалено на засіданні кафедри теоретичної фізики імені академіка І.М.Ліфшиця

Протокол від “ 27 ” 08 2024 року № 12

Завідувач кафедри теоретичної фізики імені академіка І.М.Ліфшиця

(підпис)

Рашба Г.І.  
(прізвище та ініціали)

Програму погоджено з гарантом освітньої програми

фізика (спеціальність 104 – фізика та астрономія)

назва освітньої програми

Гарант освітньої (професійної/наукової) програми  
(керівник проектної групи) Лазоренко О.В.

(підпис)

Лазоренко О.В.  
(прізвище та ініціали)

Програму погоджено методичною комісією

фізичного факультету

назва факультету, для здобувачів вищої освіти якого викладається навчальна дисципліна

Протокол від “ 28 ” 08 2024 року № 1

Голова методичної комісії фізичного факультету

(підпис)

Макаровський М.О.  
(прізвище та ініціали)

## ВСТУП

Програма навчальної дисципліни «**Математичні методи теоретичної фізики**» складена відповідно до освітньо-професійної програми підготовки першого рівню вищої освіти – бакалавр

спеціальності (напряму) 104 – фізика та астрономія  
спеціалізації

### 1. Опис навчальної дисципліни

#### 1.1. Мета та завдання навчальної дисципліни

Метою викладання навчальної дисципліни «Математичні методи теоретичної фізики» є формування уявлень студентів про основні теоретико-математичні методи обчислення наближених виразів та розв'язків рівнянь.

1.2. Основні завдання вивчення дисципліни «Математичні методи теоретичної фізики»

- ознайомлення студентів з методами наближених обчислень,
- вивчення студентами термінів, які пов'язані із асимптотиками,
- навчити студентів вибирати адекватні підходи для розв'язання фізичних задач наближеними методами за допомогою навчальної та довідкової літератури.

*Компетентності, що забезпечуються дисципліною:*

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

- Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу (ЗК-1).

- Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях (ЗК-2).

- Навички використання інформаційних і комунікаційних технологій (ЗК-3).

- Здатність бути критичним і самокритичним (ЗК-4).

- Здатність приймати обґрунтовані рішення (ЗК-5).

- Навички міжособистісної взаємодії (ЗК-6).

- Здатність оцінювати та забезпечувати якість виконуваних робіт (ЗК-8).

- Визначеність і наполегливість щодо поставлених завдань і взятих обов'язків (ЗК-9).

- Здатність спілкуватися державною мовою як усно, так і письмово (ЗК-12).

- Здатність спілкуватися іноземною мовою (ЗК-13).

- Знання і розуміння теоретичного та експериментального базису сучасної фізики та астрономії (ФК-1).

- Здатність працювати із науковим обладнанням та вимірювальними приладами, обробляти та аналізувати результати досліджень (ФК-4).

- Здатність виконувати обчислювальні експерименти, використовувати чисельні методи для розв'язування фізичних та астрономічних задач і моделювання фізичних систем (ФК-5).

- Здатність моделювати фізичні системи та астрономічні явища і процеси (ФК-6).

- Здатність використовувати базові знання з фізики та астрономії для розуміння будови та поведінки природних і штучних об'єктів, законів існування та еволюції Всесвіту (ФК-7).

- Здатність працювати з джерелами навчальної та наукової інформації (ФК-9).

- Здатність самостійно навчатися і опановувати нові знання з фізики, астрономії та суміжних галузей (ФК-10).

- Усвідомлення професійних етичних аспектів фізичних та астрономічних досліджень (ФК-12).

- Орієнтація на найвищі наукові стандарти - обізнаність щодо фундаментальних відкриттів та теорій, які суттєво вплинули на розвиток фізики, астрономії та інших природничих наук. (ФК-13).
- Здатність здобувати додаткові компетентності через вибіркові складові освітньої програми, самоосвіту, неформальну та інформальну освіту (ФК-14).

1.3. Кількість кредитів 5.

1.4. Загальна кількість годин 150.

|  |
|--|
| 1.5. Характеристика навчальної дисципліни              |
| За вибором   |
| Денна форма навчання                                   |
| Рік підготовки   |
| 3-й  |
| Семестр  |
| 6-й  |
| Лекції   |
| 32 год.  |
| Практичні, семінарські заняття                         |
| 16 год.  |
| Лабораторні заняття                                    |
| Не передбачені навчальним планом                       |
| Самостійна робота                                      |
| 102 год. (в тому числі 20 год. на курсову роботу)      |
| Індивідуальні завдання                                 |
| Курсова робота (20 год. за рахунок самостійної роботи) |
| <b>Екзамен</b>   |

1.6. Заплановані результати навчання

Згідно з вимогами освітньо-професійної (освітньо-наукової) програми студенти повинні досягти таких результатів навчання:

Знати, розуміти та бути здатним застосовувати на базовому рівні принципи та методи обчислення наближених виразів та розв'язків рівнянь математичної та теоретичної фізики.

Бути здатними застосовувати відповідні асимптотичні методи для наближеного розв'язку математичних та фізичних задач, впроваджувати здобуті фундаментальні знання з цього розділу при розробці нових наукових методик для адекватних наближених розрахунків задач сучасної теоретичної фізики.

## 2. тематичний план навчальної дисципліни

### Розділ 1. Наближені розв'язки алгебраїчних рівнянь.

- Тема 1. Обчислення і оцінка похибки.
- Тема 2. Трансцендентні алгебраїчні рівняння.
- Тема 3. Неявні функції. Метод обернення Лагранжа.
- Тема 4. Асимптотичне обчислення сум.
- Тема 5. Асимптотики в геометрії.
- Тема 6. Наближена побудова графіків функцій.

### Розділ 2. Асимптотичні розв'язки диференціальних рівнянь.

- Тема 7. Диференціальні рівняння з малим параметром.
- Тема 8. Рішення диференціальних рівнянь в околі особливої точки.
- Тема 9. Сингулярно збудені диференціальні рівняння.

Тема 10. Слабка нелінійність в рівняннях коливань.

Тема 11. Наближені графіки розв'язків диференціальних рівнянь.

Тема 12. Фазові портрети.

### Розділ 3. Асимптотики інтегралів.

Тема 13. Загальні методи наближеного обчислення інтегралів.

Тема 14. Інтегрування по частинах.

Тема 15. Інтеграл Фур'є.

Тема 16. Метод стаціонарної фази.

Тема 17. Метод Лапласа.

Тема 18. Метод перевалу.

### 3. Структура навчальної дисципліни

| Назви модулів і тем   | Кількість годин |              |           |     |           |           |
|---|-----------------|--------------|-----------|-----|-----------|-----------|
|   | Денна форма     |              |           |     |           |           |
|   | Усього          | у тому числі |           |     |           |           |
| л   |                 | п            | лаб       | інд | с.р       |           |
| 1   | 2               | 3            | 4         | 5   | 6         | 7         |
| <b>Розділ 1. Наближені розв'язки алгебраїчних рівнянь</b>       |                 |              |           |     |           |           |
| Тема 1  | 5               | 1            |           |     |           | 4         |
| Тема 2  | 7               | 1            | 1.5       |     |           | 4.5       |
| Тема 3  | 7               | 1            | 1.5       |     |           | 4.5       |
| Тема 4  | 7               | 1            | 1.5       |     |           | 4.5       |
| Тема 5  | 9               | 1            | 1.5       |     | 2         | 4.5       |
| Тема 6  | 9               | 1            | 1         |     | 2         | 5         |
| Разом за розділом 1   | 44              | 6            | 7         |     | 4         | 27        |
| <b>Розділ 2. Асимптотичні розв'язки диференціальних рівнянь</b> |                 |              |           |     |           |           |
| Тема 7  | 7               | 2            |           |     | 2         | 3         |
| Тема 8  | 9               | 2            | 0.5       |     | 2         | 4.5       |
| Тема 9  | 7               | 2            | 0.5       |     |           | 4.5       |
| Тема 10   | 7               | 2            | 0.5       |     |           | 4.5       |
| Тема 11   | 7               | 2            | 0.5       |     |           | 4.5       |
| Тема 12   | 7               | 2            | 1         |     |           | 4         |
| Разом за розділом 2   | 44              | 12           | 3         |     | 4         | 25        |
| <b>Розділ 3. Асимптотики інтегралів</b>                         |                 |              |           |     |           |           |
| Тема 13   | 9               | 2            | 1         |     | 2         | 4         |
| Тема 14   | 9               | 2            | 1         |     | 2         | 4         |
| Тема 15   | 11              | 2            | 1         |     | 2         | 6         |
| Тема 16   | 11              | 2            | 1         |     | 2         | 6         |
| Тема 17   | 11              | 3            | 1         |     | 2         | 5         |
| Тема 18   | 11              | 3            | 1         |     | 2         | 5         |
| Разом за розділом 3   | 62              | 14           | 6         |     | 12        | 30        |
| <b>Усього годин</b>   | <b>150</b>      | <b>32</b>    | <b>16</b> |     | <b>20</b> | <b>82</b> |

### 4. Теми семінарських (практичних, лабораторних) занять

Практичні заняття навчальним планом не передбачені.

### 5. Завдання для самостійної роботи

Пояснення щодо того, що повинен зробити студент під час самостійної роботи.

1. По всім нижче вказаним темам опрацювати конспекти лекцій, прочитати відповідні параграфи в підручниках [1–5].
2. Самостійно виконати домашні завдання.
3. Написати курсову роботу та приготувати до неї презентацію.

| № з/п    | Види, зміст самостійної роботи   | Кількість годин |
|----------|--|-----------------|
| 1        | 2  | 4               |
| Тема 1.  | Обчислення і оцінка похибки.   | 4.5             |
| Тема 2.  | Трансцендентні алгебраїчні рівняння.   | 4.5             |
| Тема 3.  | Неявні функції. Метод обернення Лагранжа.  | 4.5             |
| Тема 4.  | Асимптотичне обчислення сум.   | 4.5             |
| Тема 5.  | Асимптотики в геометрії. В тому числі <u>2 години</u> на виконання курсової роботи.                                | 6.5             |
| Тема 6.  | Наближена побудова графіків функцій. В тому числі <u>2 години</u> на виконання курсової роботи.                    | 7               |
| Тема 7.  | Диференціальні рівняння з малим параметром. В тому числі <u>2 години</u> на виконання курсової роботи.             | 5               |
| Тема 8.  | Рішення диференціальних рівнянь в околі особливої точки. В тому числі <u>2 години</u> на виконання курсової роботи | 6.5             |
| Тема 9.  | Сингулярно збурені диференціальні рівняння.  | 4.5             |
| Тема 10. | Слабка нелінійність в рівняннях коливачів.   | 4.5             |
| Тема 11. | Наближені графіки розв'язків диференціальних рівнянь.  | 4.5             |
| Тема 12. | Фазові портрети.   | 4               |
| Тема 13. | Загальні методи наближеного обчислення інтегралів. <u>2 години</u>   | 6               |
| Тема 14. | Інтегрування по частинах. В тому числі <u>2 години</u> на виконання курсової роботи.                               | 6               |
| Тема 15. | Інтеграли Фур'є. В тому числі <u>2 години</u> на виконання курсової роботи.  | 8               |
| Тема 16. | Метод стаціонарної фази. В тому числі <u>2 години</u> на виконання курсової роботи.                                | 8               |
| Тема 17. | Метод Лапласа. В тому числі <u>2 години</u> на виконання курсової роботи.  | 7               |
| Тема 18. | Метод перевалу. В тому числі <u>2 години</u> на виконання курсової роботи.   | 7               |
|          | <b>Разом</b>   | <b>102</b>      |

### 6. Індивідуальні завдання

Курсова робота, яка виконується під час самостійної роботи.

#### Запропоновані теми курсових робіт

1. Застосування методу ітерацій для наближених обчислень.
2. Узагальнений метод усереднення Крилова-Боголюбова.
3. Лема Ватсона та її застосування для асимптотичного розкладання інтегралу Лапласа.
4. Метод найшвидшого спуску (метод Дебая) для асимптотичного обчислення інтегралів.
5. Застосування формули Ейлера-Маклорена для асимптотичного обчислення сум.
6. Метод розтягнутих параметрів для рівнянь нелінійних коливачів.

## 7. Методи контролю

Поточне опитування, перевірка домашніх завдань, захист курсової роботи, екзамен.

## 8. Схема нарахування балів

| Поточний контроль, самостійна робота, індивідуальні завдання |          |          |                               |                        | Екзамен | Сума |
|--|----------|----------|-------------------------------|------------------------|---------|------|
| Розділ 1   | Розділ 2 | Розділ 3 | Курсова робота                |                        |         |      |
| T1-T6  | T7-T12   | T13-T18  | Рукопис роботи та презентація | Захист курсової роботи |         |      |
| 15   | 15       | 15       | 5                             | 10                     | 60      | 100  |

Для зарахування розділів 1-3 треба набрати у підсумку не менше 7,5 балів за результатами поточного опитування та за виконання домашніх завдань за кожний з розділів. Для зарахування курсової роботи треба представити її у письмовому вигляді, підготувати презентацію (не менше 2, 5 балів) та захистити роботу (не менше 5 балів) й набрати у підсумку не менше 7,5 балів. Для допуску до письмового екзамену треба набрати у підсумку не менше 30 балів. За екзаменаційну письмову роботу студент повинен набрати не менше 20 балів та загалом не менше 50 балів.

**Екзаменаційний білет** складається з чотирьох питань – двох теоретичних та двох практичних (задач). Максимальна оцінка за кожне з питань білету – 10 балів.

### Критерії оцінювання письмової екзаменаційної роботи

У відповіді на теоретичне питання студент повинен продемонструвати знання теорії навчальної дисципліни «Асимптотичні методи» та її понятійно-категоріального апарату, термінології, понять і принципів предметної області дисципліни.

Максимальні бали виставляються в разі чіткої, логічної, послідовної відповіді на поставлене питання, з висновками основних формул, формулюванням фізичних законів

У процесі оцінювання теоретичних завдань екзаменаційного білету враховуються:

- повнота розкриття питання (2 бали);
- уміння чітко формулювати визначення фізичних понять, термінів та пояснювати їх (2 бали);
- здатність аргументувати отриману відповідь (2 бали);
- здатність робити аналітичні міркування, порівняння, формулювання висновків (2 бали);
- логічна послідовність викладення матеріалу у відповіді на завдання (2 бали).

Рішення задач повинні бути обґрунтованими, з посиланням на відповідні фізичні закони та рівняння, які застосовуються при рішенні, з послідовними розрахунками всіх основних формул, доведеним до кінцевого результату з чіткою відповіддю на поставлене питання. За рішення задачі (практичного завдання) нараховуються такі бали:

1. Завдання розв'язано на оцінку 10 балів у випадку, коли студент отримав правильну відповідь і продемонстрував метод і спосіб її отримання.
2. Завдання розв'язано на оцінку 8-9 балів, коли студент не отримав правильну відповідь, але продемонстрував вірний метод і спосіб її отримання.
3. Завдання розв'язано частково на оцінку 5-7 балів, коли студент не отримав правильну відповідь, але частково розв'язав задачу та отримав деякі проміжні результати.
4. Завдання розв'язано на оцінку 0-4 балів, коли студент не отримав правильну

відповідь, причому метод і спосіб розв'язання завдання були не вірними.

**Екзамен зданий, якщо сумарна оцінка за письмову екзаменаційну роботу не менше 20 балів, а сумарний підсумковий бал не менше 50 балів.**

### Шкала оцінювання

| Сума балів за всі види навчальної діяльності протягом семестру | Оцінка за національною шкалою       |                                  |
|--|-------------------------------------|----------------------------------|
|  | для чотирирівневої шкали оцінювання | для дворівневої шкали оцінювання |
| 90 – 100   | відмінно                            | зараховано                       |
| 70-89  | добре                               |                                  |
| 50-69  | задовільно                          |                                  |
| 1-49   | незадовільно                        | не зараховано                    |

## 9. Рекомендована література

### Основна література

1. М.І. Шкіль. Асимптотичні методи в диференціальних рівняннях. К.: Вища школа, 1971.
2. W. Wasow. Asymptotic expansions for ordinary differential equations. New York: Courier Dover Publications, 2018.
3. Ali H. Nayfeh. Perturbation Methods. New York: Wiley, 2000.
4. Сніжко Н.В. Асимптотичні розвинення інтегралів, залежних від параметра. Запоріжжя: ЗДУ, 2004.
5. Апостолов С. С., Рохманова Т. М. Математичні методи наближених обчислень у теоретичній фізиці. Харків: ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2021.

### Допоміжна література

1. П.Ф. Самусенко. Асимптотичне інтегрування сингулярно збурених систем диференціальнофункціональних рівнянь з виродженнями. К.: НПУ імені М.П. Драгоманова, 2011.
2. A.B. Vasileva, V. F. Butuzov, L. V. Kalachev. The Boundary Function Method for Singular Perturbation Problems. Philadelphia: SIAM, 1995

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

Сайт кафедри теоретичної фізики:

<http://kaf-theor-phys.univer.kharkov.ua/Robochi%20programy/MathMetods-final-2021.pdf>

<http://kaf-theor-phys.univer.kharkov.ua/Robochi%20programy/MathMetods-final-2021.pdf>