

ЗАТВЕРДЖЕНО  
Наказ ректора Київського національного  
університету імені Тараса Шевченка  
від «\_\_» \_\_\_\_\_ 2017 року за № \_\_\_\_\_  
згідно Ухвали Вченої Ради від 30.06.2017 р.

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА**

**Фізичний факультет**

(назва факультету)

Кафедра теоретичної фізики

**«ЗАТВЕРДЖУЮ»**

Заступник декана/директора  
з навчальної роботи

«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ року

**РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ<sup>1</sup>**

**ЕЛЕКТРОДИНАМІКА**

(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)

спеціалізація \_\_\_\_\_  
(за наявності) (назва спеціалізації)

вид дисципліни обов'язкова

Форма навчання	<u>очна</u>
Навчальний рік	<u>2024/2025</u>
Семестр	<u>4,5</u>
Кількість кредитів ECTS	<u>8</u>
Мова викладання, навчання та оцінювання	<u>українська</u>
Форма заключного контролю	<u>іспит</u>

Викладачі: Романенко О.В., Субота С.П.

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

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

**КИЇВ – 2024**



**1. Мета дисципліни** – курс електродинаміки має за мету поглибити знання з класичної електродинаміки, одержані в загальному курсі фізики, засвоїти математичний апарат класичної теорії поля і на його основі – теорію електромагнітного поля Максвелла, її релятивістське представлення, та теорію електромагнітного поля в суцільних середовищах.

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

- Володіти основами математичного аналізу, лінійної алгебри та векторного аналізу. Знати основи диференціальних рівнянь та рівнянь у частинних похідних математичної фізики.
- Вміти виконувати основні операції інтегрування та диференціювання, обчислення границь, аналізувати властивості функцій, розкласти функції у степеневі ряди.
- Володіти методом функцій Гріна з теорії звичайних диференціальних рівнянь. Знати основи теорії спеціальних функцій (ортогональних поліномів Лежандра, сферичних та циліндричних функцій).
- Вміти будувати ескізи графіків функцій, розкладувати функції в ряд та інтеграл Фур'є. Вільно володіти навичками представлення дельта-функції, Гама-функції, Бета-функції.

## **3. Анотація навчальної дисципліни:**

Нормативна дисципліна «Електродинаміка» є складовою циклу професійної підготовки фахівців освітньо-кваліфікаційного рівня “бакалавр фізики” та базовою для вивчення всіх фізичних дисциплін. Програма курсу орієнтована на студентів, які вже знайомі з математичним аналізом, основами векторного та тензорного аналізу, загальним курсом механіки, електрики, оптики, диференційними рівняннями. Результати навчання полягають у знанні фундаментальних законів електромагнітного поля, законів макроскопічної електродинаміки, законів поширення електромагнітного поля у середовищах, основних положень спеціальної теорії відносності, релятивістської механіки. Також, як результат, студенти ознайомлені з основними наближеннями рівнянь електродинаміки та основними моделями поведінки суцільного середовища в електромагнітному полі, а також здатні розв'язувати складні спеціалізовані задачі та практичні проблеми з фізики та астрономії у професійній діяльності або у процесі подальшого навчання, що передбачає застосування певних теорій і методів фізики та астрономії і характеризується комплексністю та невизначеністю умов.

Методи викладання: лекції, консультації, практичні заняття. Методи оцінювання: опитування в процесі практичних занять, контрольні роботи після основних розділів курсу, залік (4 семестр) та іспит (5 семестр). Підсумкова оцінка виставляється на основі проміжних оцінок (40%) та заліку, іспиту (60%).

**4. Завдання (навчальні цілі)** – засвоєння студентами методів розв'язування задач з курсу електродинаміки, зокрема, здатність студентами застосовувати знання у практичних ситуаціях для розрахунку електромагнітних полів, руху частинок в електромагнітному полі. Також здатність володіти сучасними знаннями з курсу електродинаміки, 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», дисципліна забезпечує набуття здобувачами освіти **інтегральну компетентність**:

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

**Загальні компетентності:**

- ЗК1. Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу.
- ЗК2. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.

**Фахові компетентності:**

- ФК1. Знання і розуміння теоретичного та експериментального базису сучасної фізики та астрономії.
- ФК2. Здатність використовувати на практиці базові знання з математики як математичного апарату фізики і астрономії при вивченні та дослідженні фізичних та астрономічних явищ і процесів.
- ФК3. Здатність оцінювати порядок величин у різних дослідженнях, так само як точності та значимості результатів.
- ФК5. Здатність виконувати обчислювальні експерименти, використовувати чисельні методи для розв'язування фізичних та астрономічних задач і моделювання фізичних систем.
- ФК6. Здатність моделювати фізичні системи та астрономічні явища і процеси.
- ФК7. Здатність використовувати базові знання з фізики та астрономії для розуміння будови та поведінки природних і штучних об'єктів, законів існування та еволюції Всесвіту.
- ФК8. Здатність виконувати теоретичні та експериментальні дослідження автономно та у складі наукової групи.
- ФК9. Здатність працювати з джерелами навчальної та наукової інформації.

**5. Результати навчання за дисципліною:**

<b>Результат навчання</b> (1. знати; 2. Вміти; 3. Комунікація; 4. Автономність та відповідальність)		<b>Методи викладання і навчання</b>	<b>Методи оцінювання</b>	<b>Відсоток у підсумковій оцінці з дисципліни</b>
<b>Код</b>	<b>Результат навчання</b>			
<b>1</b>	1.1. Фундаментальні закони електромагнітного поля.	Лекція, практичне заняття	Задачі, усні відповіді	2.5
	1.2. Основні положення теорії електромагнітного поля у вакуумі.	Лекція, практичне заняття	Задачі, усні відповіді	6
	1.3. Основні закони макроскопічної електродинаміки.	Лекція, практичне заняття	Модульна контрольна робота	12.5
	1.4. Основні наближення рівнянь електродинаміки.	Лекція, практичне заняття	Модульна контрольна робота	12.5
	1.5. Основні моделі поведінки суцільного середовища в електромагнітному полі.	Лекція, практичне заняття	Задачі, усні відповіді	2
	1.6. Основні закони поширення електромагнітного поля у середовищах.	Лекція, практичне заняття	Задачі, усні відповіді	2
	1.7. Основні положення спеціальної теорії відносності та релятивістської механіки.	Лекція, практичне заняття	Задачі, усні відповіді	2.5
<b>2</b>	2.1. Записати рівняння Максвелла у вакуумі	Лекція, практичне заняття	Модульна контрольна робота	12.5

	2.2. Вивести рівняння електромагнітного поля для потенціалів	Лекція	Задачі, усні відповіді	6
	2.3. Записувати рівняння Максвелла в інтегральній та диференціальній формі, а також межові умови	Лекція	Модульна контрольна робота	12.5
	2.4. Записувати рівняння електродинаміки в Міжнародній та Гауссовій системах одиниць	Лекція, практичне заняття	Задачі, усні відповіді	2.5
	2.5. Записати рівняння Максвелла у коваріантній формі.	Лекція, практичне заняття	Самостійна робота	2.5
	2.6. Розв'язувати основні типи задач про випромінювання та розсіяння електромагнітних хвиль	Лекція, практичне заняття	Модульна контрольна робота	2.5
	2.7. Розв'язувати основні типи задач спеціальної теорії відносності	Практичне заняття	Задачі, усні відповіді	2.5
	2.8. Записати рівняння Максвелла в середовищі	Лекція, практичне заняття	Задачі, усні відповіді	2.5
	2.9. Розв'язувати основні типи задач про відгук суцільного середовища на електромагнітне поле	Лекція, практичне заняття	Задачі, усні відповіді	2
	2.10. Розв'язувати основні типи задач про поширення електромагнітного поля в заданому середовищі	Лекція, практичне заняття	Модульна контрольна робота	12.5
<b>3</b>	3.1. Пояснити розв'язки задач та вміти, обґрунтувати основні положення електродинаміки	Практичне заняття, самостійна робота	Усні відповіді	2

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

Результати навчання дисципліни			
Програмні результати навчання	1	2	3
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.	+	+	+
ПРН5. Знати основні актуальні проблеми сучасної фізики та астрономії.	+	+	+
ПРН6. Оцінювати вплив новітніх відкриттів на розвиток сучасної фізики та астрономії.	+	+	+
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.	+	+	+

ПРН28. Мати уявлення про трансдисциплінарний шлях розвитку науки та його значення для вибору майбутньої освітньої траєкторії.	+	+	+
---	---	---	---

## 7. Структура курсу

Курс складається з 4-х змістових модулів: 2-а модулі в четвертому семестрі, та 2-а – в п'ятому, який включає в себе всього 30 лекцій та 30 практичних занять (по 15 лекцій і 15 практичних занять, відповідно в 4 та 5 семестрах).

## 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:

1. Модульна контрольна робота РН 1.3, 2.1 (10 балів).
2. Модульна контрольна робота РН 2.3, 2.10 (10 балів).
3. Задачі, самостійна робота (20 балів).

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

Студент не допускається до іспиту, якщо під час семестру набрав менше **20 балів**.

Отже,

1. підсумкове оцінювання у формі іспиту. На іспиті максимально можна отримати **60 балів**.
2. умови допуску до заліку: розв'язок не менше **30 %** задач, що виносяться на самостійну роботу.

**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 2 змістових модулів. Система оцінювання знань включає поточний, модульний та семестровий контроль знань. Результати навчальної діяльності студентів оцінюються за 100-бальною шкалою.

Форми поточного контролю: оцінювання письмових самостійних завдань, контрольних робіт, виконаних студентами під час практичних занять. Студент може отримати максимально **40** балів за виконання домашніх робіт, самостійних завдань, усні відповіді, доповнення на практичних заняттях (по 20 балів в кожному змістовому модулі).

Підсумковий семестровий контроль проводиться у формі іспиту (**60** балів). Остаточна оцінка є сумою семестрової та екзаменаційної.

## 8.3 Шкала відповідності оцінок

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

<b>Зараховано / Passed</b>	60-100
<b>Не зараховано / Fail</b>	0-59
<b>Відмінно / Excellent</b>	90-100
<b>Добре / Good</b>	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

**9. Структура навчальної дисципліни. Тематичний план лекцій, практичних занять та самостійних робіт**

**IV СЕМЕСТР**

№ теми	Назва лекції	Кількість годин		
		лекції	Практичні заняття	Самост. Робота
<b><i>Змістовий модуль 1</i></b>				
1	Експериментальні закони електростатики. Закон Кулона, електричне поле, потенціал. Рівняння електростатики у інтегральній та диференціальній формах. Межові умови для поля.	2	4	6
2	Теорема Гріна. Єдиність розв'язку рівняння Пуассона. Постановка задач електростатики. Метод функцій Гріна та метод зображень.	3	2	4
3	Енергія системи зарядів та електростатичного поля.	2	2	4
4	Розклад по мультиполях у декартових координатах. Дипольний та квадрупольний моменти. Розклад енергії взаємодії із зовнішнім полем.	2	2	4
5	Експериментальні закони магнітостатики. Закони Ампера та Біо. Рівняння магнітостатики у диференціальній формі. Векторний потенціал магнітного поля. Межові умови для магнітностатичного поля.	2	2	4
6	Енергетичні співвідношення у магнітному полі. Коефіцієнти індукції. Потенціальна функція	2	1	4
7	Мультипольний розклад у магнітному полі. Магнітний дипольний момент.	2	1	4
	<b>Модульна контрольна робота 1</b>		2	
<b><i>Змістовий модуль 2</i></b>				
8	Макроскопічна електростатика, усереднення мікроскопічних полів. Поляризація, вектор електростатичної індукції	2	2	4

9	Макроскопічна магнітостатика, усереднення мікроскопічних полів. Вектор магнітної індукції. Магнітний псевдопотенціал.	3	2	4
10	Ізотропні лінійні середовища. Межові умови для електричного та магнітного поля. Найпростіші моделі діелектриків.	2	4	4
11	Змінне електромагнітне поле. Закон Фарадея. Струм зміщення. Повна система рівнянь Максвелла у вакуумі та суцільному середовищі. Рівняння неперервності.	2	2	6
12	Скалярний та векторний потенціали. Калібрувальна інваріантність. Рівняння для потенціалів. Умови калібрування Лоренца та Кулона.	2	2	4
13	Енергія електромагнітного поля. Теорема Пойтинга. Система з електромагнітного поля та заряджених частинок. Імпульс електромагнітного поля. Тензор напруг Максвелла.	2	2	4
14	Функція Гріна для хвильового рівняння. Запізнювальні та випереджувальні потенціали. Спектральний розклад електромагнітного поля. Теорема Парсеваля та її узагальнення.	2	2	4
	<b>Модульна контрольна робота 2</b>		2	
<b>Всього</b>		30	30	60

## V СЕМЕСТР

№ теми	Назва лекції	Кількість годин		
		лекції	Практичні заняття	Самост. Робота
<i><b>Змістовий модуль 1</b></i>				
1	Плоска монохроматична електромагнітна хвиля у вакуумі, розв'язок хвильового рівняння. Поляризація плоских монохроматичних хвиль.	2	2	4
2	Електромагнітні хвилі у однорідному суцільному середовищі. Заломлення та відбивання хвиль (закон Снелліуса). Повне внутрішнє відбивання. Формули Френеля для лінійно поляризованих хвиль.	3	2	6
3	Поширення електромагнітних хвиль у анізотропному середовищі. Одновісний кристал (оптична вісь перпендикулярна до межі розділення з вакуумом).	2	2	4
4	Наближення геометричної оптики. Рівняння ейконала.	2	1	4



5	Дисперсія діелектричної проникності. Співвідношення Крамерса-Кроніга. Хвилі у середовищі з дисперсією. Групова швидкість.	2	2	4
6	Хвилі у обмежених середовищах. Хвилеводи та резонатори. ТЕ- та ТМ-хвилі. Нескінченний хвилевод з прямокутним перерізом.	2	2	4
7	Квазістаціонарне наближення для магнітного поля. Скін-ефект.	2	2	4
<b>Модульна контрольна робота 1</b>			2	
<b>Змістовий модуль 2</b>				
8	Випромінювання електромагнітних хвиль. Поле системи зарядів на великій відстані від системи.	2	2	4
9	Електричне дипольне випромінювання. Магнітне дипольне та електричне квадрупольне випромінювання. Кутовий та спектральний розподіл випромінювання.	3	2	4
10	Випромінювання заряду, що рухається по довільній траєкторії. Потенціали Лієнара-Віхерта. Випромінювання заряду, що рухається з малою швидкістю. Формула Лармора. Інтенсивність випромінювання для заряду, що рухається вздовж прямої. Сила реакції випромінювання.	2	2	6
11	Основні положення спеціальної теорії відносності. Перетворення Лоренца. Просторово-часовий інтервал. Простір Мінковського. Чотиривектори та чотиритензори.	2	2	4
12	Тензор електромагнітного поля. Перетворення Лоренца для електричного та магнітного поля. Рівняння Максвелла у чотиривимірній формі.	2	1	4
13	Функція Лагранжа для вільної частинки у теорії відносності. Імпульс, енергія, функція Гамільтона. Рівняння руху для частинки у теорії відносності, чотиривектори швидкості та сили.	2	2	4
14	Сила Лоренца. Тензор енергії-імпульсу електромагнітного поля у чотиривимірній формі.	2	2	4
<b>Модульна контрольна робота 2</b>			2	
<b>Всього</b>		30	30	60

Загальний обсяг 240 год.<sup>1</sup>, в тому числі (вибрати необхідне):

<sup>1</sup> Загальна кількість годин, відведених на дану дисципліну згідно навчального плану.

Лекцій – **60 год.**  
Семінари – год.  
Практичні заняття - **60 год.**  
Лабораторні заняття - \_\_\_\_ год.  
Тренінги - \_\_\_\_ год.  
Консультації - \_\_\_\_ год.  
Самостійна робота – **120 год.**

## **9. Рекомендована література**

### *Основна*

1. Л.Г. Гречко, В.И.Сугаков, О.Ф.Томасевич, А.М.Федорченко Сборник задач по теоретической физике, М., Высшая школа, 1984.
2. А.И. Алексеев, Сборник задач по классической электродинамике, М., Наука, 1977.
3. В.В. Батыгин, И.Н. Топтыгин, Сборник задач по электродинамике, М., Наука, 1970.
4. Л.Г. Гречко, В.И.Сугаков, О.Ф.Томасевич, А.М.Федорченко Сборник задач по теоретической физике, Москва, Высшая школа, 1972.
5. В.Й.Сугаков, Теоретична фізика. Електродинаміка, Київ, Вища школа, 1974
6. А.М.Федорченко Теоретична фізика, т.1 Класична механіка і електродинаміка, Київ, Вища школа, 1992.
7. Л.Д.Ландау, Е.М.Лифшиц, Теоретическая физика, т.2 Теория поля, М., Наука, 1988.
8. Л.Д.Ландау, Е.М.Лифшиц, Теоретическая физика, т.8 Электродинамика сплошных сред, М., Наука, 1982.

### *Додаткова*

9. М. В. Макарець, В. Ю. Решетняк, О.В. Романенко, Задачі з класичної електродинаміки, Київ, ВПЦ «Київський національний університет», 2006.
10. Дж.Джексон, Классическая электродинамика, М., Мир, 1965
11. В. Пановский, М. Филипс, Классическая электродинамика, М., Физматгиз, 1963.
12. W. Greiner, Classical electrodynamics, Springer, 1998.
13. И.Е. Тамм, Основы теории электричества, М., Наука, 1976.
14. В.Г.Левич, Курс теоретической физики М.: Наука т. 1 Теория электромагнитного поля, теория относительности, статистическая физика, электромагнитные процессы в веществе. 1969.