

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА**

Інститут високих технологій

Кафедра нанofізики конденсованих середовищ

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Заступник декана з навчальної роботи

_____ Галина ГРАБЧУК

« ____ » _____ 2024 року

**РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ
ЕЛЕКТРОДИНАМІКА**

для студентів

галузь знань
спеціальність
освітній рівень
освітні програми
вид дисципліни

**10 Природничі науки
105 Прикладна фізика та наноматеріали
бакалавр
Нанofізика та комп'ютерні технології
обов'язкова**

Форма навчання	денна
Навчальний рік	2024/2025
Семестри	4, 5
Кількість кредитів ETCS	8
Мова навчання	українська
Форма заключного контролю	іспит

Викладачі:

Денис ШЕКА, доктор фіз.-мат. наук, професор, професор кафедри нанofізики конденсованих середовищ

Пролонговано: на 20__/20__ н.р. _____ (_____) «__» _____ 20__ р.

Пролонговано: на 20__/20__ н.р. _____ (_____) «__» _____ 20__ р.

КИЇВ-2024

Розробник:

Денис ШЕКА, доктор фіз.-мат. наук, професор, професор кафедри нанوفізики конденсованих середовищ

«ЗАТВЕРДЖЕНО»

Завідувач кафедри нанوفізики конденсованих середовищ

_____ **Валерій СРИШЕВСЬКИЙ**

Протокол № _____ від «___» _____ 2024 року

Схвалено науково-методичною комісією інституту високих технологій

Протокол № _____ від «___» _____ 2024 року

Голова науково-методичної комісії _____ **Оксана ФУТОРНА**

«___» _____ 2024 року

ВСТУП

1. Мета навчальної дисципліни «Електродинаміка» — оволодіння основними теоретичними положеннями та математичними методами, що дозволить на сучасному рівні вивчати властивості електромагнітного поля та пов'язані з ним макроскопічні електричні і магнітні властивості середовищ.

2. Попередні вимоги для вивчення навчальної дисципліни:

До вивчення дисципліни «Електродинаміка» необхідно успішне опанування наступних курсів: «Математичний аналіз», «Загальна алгебра», «Диференціальні рівняння та теорія ймовірностей», «Механіка», «Теоретична механіка», «Молекулярна фізика», «Електрика та магнетизм».

3. Анотація навчальної дисципліни: «Електродинаміка» включає основні розділи електродинаміки вакууму та електродинаміки суцільного середовища та включає наступні основні змістовні модулі: спеціальна теорія відносності, рівняння електромагнітного поля, електромагнітні хвилі, електромагнітні поля в речовині (випромінювання), дифракція та інтерференція, взаємодія електромагнітних хвиль з речовиною. Викладені теми та методи широко використовуються при вивченні інших дисциплін у наступних семестрах бакалаврату та в магістратурі.

4. Завдання (навчальні цілі):

- Надати студентам основні теоретичні відомості з навчальної дисципліни Електродинаміка.
- Розширити уявлення про структуру електромагнітних полів, особливості застосування математичного апарату, нові фізичні явища електромагнітної природи.
- Навчити застосовувати основні відомості курсу у професійній діяльності, розвивати у студентів аналітичне мислення та науковий підхід.
- Навчити застосовувати отримані знання та уміння в моделюванні радіотехнічних (приймально-передаючі антени) і оптичних систем.

Дисципліна спрямована на формування наступних загальних компетентностей:

ЗК-1 Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях

ЗК-2 Знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності

ЗК-3 Здатність спілкуватися державною мовою як усно, так і письмово

ЗК-7 Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел

ЗК-9 Здатність працювати автономно

ЗК-13 Здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями

ЗК-14 Здатність бути критичним і самокритичним

ЗК-15 Здатність приймати обґрунтовані рішення

Дисципліна спрямована на формування наступних фахових компетентностей:

ФК-1 Здатність брати участь у плануванні та виконанні наукових та науково-технічних проєктів

ФК-6 Здатність розуміти і використовувати сучасні теоретичні уявлення в галузі економіки, фізики для пошуку методів можливих рішень

ФК-7 Здатність використовувати методи і засоби теоретичного дослідження та математичного моделювання для знаходження спільних рис в фізичних та економічних задачах

ФК-10 Здатність реалізовувати автоматизацію експериментальних досліджень у різних сферах науки із використанням сучасних комп'ютерних технологій

ФК-11 Здатність використовувати комп'ютерні технології при проектуванні, розробці та діагностиці електронного обладнання

5. Результати навчання. У результаті вивчення дисципліни «Електродинаміка» студент отримає підготовку, достатню для подальшого навчання за освітньою програмою, самостійного вивчення необхідної наукової літератури, вирішення типових задач, що потребують використання методів та знань у галузі електродинаміки.

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:	лекційні заняття	тести, залік, іспит, контрольні роботи, завдання для самостійної роботи	до 50
1.1	Основи спеціальної теорії відносності	лекційні заняття	тести, залік, іспит, контрольні роботи, завдання для самостійної роботи	
1.2	Основи теорії електромагнітного поля	лекційні заняття	тести, залік, іспит, контрольні роботи, завдання для самостійної роботи	
1.3	Основи теорії випромінювання електромагнітних хвиль	лекційні заняття	тести, залік, іспит, контрольні роботи, завдання для самостійної роботи	
1.4	Випромінювання антен. Дипольне випромінювання в ближній зоні.	лекційні заняття	іспит, контрольні роботи, завдання для самостійної роботи	
1.5	Основні лінійні та нелінійні характеристики речовин (електричні і магнітні)	лекційні заняття	іспит, контрольні роботи, завдання для самостійної роботи	
1.6	Основи теорії дифракції	лекційні заняття	іспит, контрольні роботи, завдання для самостійної роботи	
1.7	Хвилеводи і резонатори	лекційні заняття	іспит, контрольні роботи, завдання для самостійної роботи	
2	вміти:	практичні заняття	контрольні та самостійні роботи	до 50
2.1	Вирішувати типові задачі, що потребують використання методів електродинаміки	практичні заняття	контрольні та самостійні роботи	
2.2	Знаходити оптимальну методику,	практичні заняття	контрольні та самостійні роботи	

	необхідну для розв'язання задачі електродинаміки, проблеми, технічного інженерного завдання			
--	---	--	--	--

6. Співвідношення результатів навчання дисципліни із програмними результатами навчання

Результати навчання дисципліни Програмні результати навчання (назва)	Код								
	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	2.1	2.2
ПРН 1. Знати і розуміти сучасну фізику на рівні, достатньому для розв'язання складних спеціалізованих задач і практичних проблем прикладної фізики	+	+	+	+	+	+	+	+	+
ПРН 2 Застосовувати сучасні математичні методи для побудови й аналізу математичних моделей фізичних процесів	+	+	+	+	+	+	+	+	+
ПРН 4 Застосовувати фізичні, математичні та комп'ютерні моделі для дослідження фізичних явищ, розробки приладів і наукоємних технологій	+	+	+	+	+	+	+	+	+
ПРН 7. Класифікувати, аналізувати та інтерпретувати науково-технічну інформацію в галузі прикладної фізики									
ПРН 14 Організовувати результативну роботу індивідуально і як член команди.									

7. Схема формування оцінки

7.1. форми оцінювання:

- **Семестрове оцінювання:** У четвертому семестрі передбачено проведення трьох письмових контрольних робіт за матеріалом практичних занять (КР-1, КР-2, КР-3), 14 тестів (контрольних запитань) за матеріалом лекцій та підсумкового контролю у вигляді тесту. Оцінки за практику нараховуються наступним чином: контрольні роботи оцінюються у 35 балів, активність на практичних заняттях оцінюється максимум в 10 балів, домашні роботи оцінюється максимум в 10 балів, відвідування максимум у 5 балів. Максимальна оцінка, яку можна отримати за практику — 50 балів. Оцінки за теорію нараховуються наступним чином: контрольні запитання до лекцій (тести) протягом семестру оцінюються в 35 балів, підсумковий тест у 15 балів. Максимальна оцінка, яку можна отримати за теорію — 50 балів. В результаті підсумкова оцінка студента складається з оцінювання теорії і практики та складає максимум 100 балів.
- У п'ятому семестрі передбачено проведення двох письмових контрольних робіт за матеріалом практичних занять (КР-4, КР-5), 5 тестів (контрольних запитань) за матеріалом лекцій та підсумкового контролю у вигляді екзамену. Оцінки за практику нараховуються наступним чином: контрольні роботи оцінюються у 30 балів, активність на практичних заняттях оцінюється максимум в 10 балів, домашні роботи оцінюється максимум в 5 балів, відвідування максимум у 5 бали. Максимальна оцінка, яку можна отримати за практику — 40 балів. Оцінки за теорію нараховуються як контрольні запитання до лекцій (тести) протягом семестру (максимум 20 балів). По результатах семестрового оцінювання студент може отримати максимум 60 балів. Умови допуску до підсумкового іспиту в другому семестрі: студент повинен мати зарахованими всі контрольні роботи та набрати під час семестру не менше за 36 бал.
- **Робота в аудиторії** є частиною відповідного модуля, відповіді «біля дошки», виконання домашніх завдань є складовою частиною відповідного модуля.
- **Письмові контрольні роботи** проводяться після завершення відповідних тем. Замість контрольних робіт можуть бути зараховані індивідуальні завдання.

– **Підсумкове оцінювання у четвертому семестрі (у формі заліку):** відповідно до п.4.6.1 «Положення про організацію освітнього процесу у Київському національному університеті імені Тараса Шевченка (друга редакція)» (наказ №170-32 від 11.04.2023,

надалі «Положення») семестровий залік передбачає оцінювання засвоєння здобувачем освіти навчального матеріалу на підставі поточного контролю (за результатами роботи на практичних, семінарських або лабораторних заняттях, а також контрольних заходів). Виставлення підсумкової оцінки здобувачу освіти може бути здійснено за його відсутності. Умовою досягнення позитивної оцінки за дисципліну є отримання не менш ніж 60 балів.

- **Підсумкове оцінювання у п'ятому семестрі (у формі іспиту):** форма іспиту – письмово-усна. Екзаменаційний білет іспиту складається із 3 питань:

1. теоретичне питання (оцінюється від 0 до 10 балів);
2. практична задача (оцінюється від 0 до 15 балів);
3. практична задача (оцінюється від 0 до 15 балів).

Всього на залік можна отримати від 0 до 40 балів. Умовою досягнення позитивної оцінки за дисципліну є отримання не менш ніж 60 балів, при цьому оцінка за результатами навчання 2 [вміння] і 4 [автономність та відповідальність] не може бути меншою ніж 50% від максимального рівня (10 і 5 балів відповідно), оцінка за іспит не може бути меншою 20 балів.

- **Умови допуску до підсумкового іспиту:** умовою допуску до іспиту є отримання студентом протягом другого семестру не менше, ніж 36 балів. Студенти, які набрали сумарно меншу кількість балів, для одержання допуску до іспиту повинні написати на необхідну мінімальну кількість балів додаткову контрольну роботу. У випадку відсутності студента з поважних причин відпрацювання та перездачі модульних контрольних робіт здійснюються у відповідності до «Положення».

7.2. Організація оцінювання

Оцінювання за формами контролю:

4 семестр

Семестрова робота	Кількість балів	
	Min — 36	Max — 60
Практика: відвідування практичних занять, активність на практичних заняттях, три контрольні роботи (КР-1, КР-2, КР-3)	30	50
Теорія: контрольні запитання до лекцій (14 тестів)	21	35
Теорія: підсумковий тест	9	15

5 семестр

Семестрова робота	Кількість балів	
	Min — 21	Max — 40
Практика: відвідування практичних занять, активність на практичних заняттях, дві контрольні роботи (КР-4, КР-5)	24	40
Теорія: контрольні запитання до лекцій (5 тестів)	12	20

Орієнтований графік оцінювання:

4 семестр

Форма оцінювання	Орієнтовний період для здійснення відповідної форми оцінювання
Контрольна робота № 1	березень

Контрольна робота № 2	квітень
Контрольна робота № 3	травень
Добір балів/додаткова контрольна робота	травень-червень
Підсумковий тест	червень

2 семестр

Форма оцінювання	Орієнтовний період для здійснення відповідної форми оцінювання
Контрольна робота № 4	жовтень
Контрольна робота № 5	листопад
Добір балів/додаткова контрольна робота	листопад
Іспит	грудень

Розрахунок балів, які отримують при успішній здачі заліку:

Значення	Змістовні модулі	Залік	Підсумкова оцінка
Мінімум	51	9	60
Максимум	85	15	100

Розрахунок балів, які отримують при успішній здачі іспиту:

Значення	Змістовні модулі	Іспит	Підсумкова оцінка
Мінімум	36	24	60
Максимум	60	40	100

3.3. Шкала відповідності оцінок

Залік

Оцінка (за національною шкалою) / National grade	Рівень досягнень, % / Marks, %
Зараховано / Passed	60-100%
Не зараховано / Fail	0-59%

Іспит

Оцінка (за національною шкалою) / National grade	Рівень досягнень, % / Marks, %
Відмінно / Excellent	90-100%
Добре / Good	75-89%
Задовільно / Satisfactory	60-74%
Незадовільно / Fail	0-59%

8. Структура навчальної дисципліни. Тематичний план лекційних занять

Примітка: Теми практичних та семінарських занять співпадають із темами відповідних лекцій.

IV семестр

№ теми	Назва лекції (тема практичного заняття)	Кількість годин		
		Лекції	Практ.	Сам. робота
Змістовий модуль №1 «Спеціальна теорія відносності»				
1.	Принцип відносності. Релятивістський принцип відносності. Перетворення Лоренца.	1	2	3
2.	Векторний аналіз. Диференціальні операції в тривимірному просторі.	1	3	4

4.	Релятивістська кінематика. Власний час. Власна довжина. Релятивістське додавання швидкостей.	2	1	3
5.	Релятивістська механіка. Геометрія 4-простору. Ко- та контра- варіантні величини. Диференціальні операції в 4-просторі. 4-швидкість і 4-прискорення. Функції Лагранжа та Гамільтона релятивістської частинки. Коваріантне рівняння руху.	2	2	4
	ВСЬОГО	6	8	14
Змістовий модуль №2 «Рівняння електромагнітного поля»				
6.	Загальні принципи побудови теорії поля. Заряд в електромагнітному полі. Елементарний заряд в класичній теорії поля. 4-потенціал електромагнітного поля. Рівняння руху зарядженої частинки в електромагнітному полі. Сила Лоренца. Напруженість електромагнітного поля.	2	1	3
7.	Калібрувальна інваріантність. Фізичний зміст скалярного і векторного потенціалів. Ефект Ааронова-Бома. Тензор електромагнітного поля. Перетворення Лоренца для поля. Інваріанти електромагнітного поля.	2	1	3
8.	Рівняння електромагнітного поля в коваріантній формі. 4-вектор струму та рівняння неперервності. Дія системи, що складається із зарядів і електромагнітного поля. Рівняння Максвелла в коваріантній формі.	2	1	3
9.	Тривимірні форми рівнянь Максвелла. Диференціальна форма рівнянь Максвелла. Інтегральна форма рівнянь Максвелла та її зв'язок з експериментальними законами електромагнетизму. Межові умови для векторів електромагнітного поля. Закон збереження енергії електромагнітного поля. Рівняння для електромагнітних потенціалів.	2	1	3
10.	Стале електричне поле. Дипольний і квадрупольний моменти. Розклад поля за мультиполями. Система зарядів у зовнішньому електростатичному полі.	2	6	8
11.	Стале магнітне поле. Магнітний дипольний момент.	2	2	4
	ВСЬОГО	12	12	24
Змістовий модуль №3 «Електромагнітні хвилі»				
12.	Хвильове рівняння та потенціали спізнення. Хвильове рівняння (рівняння д'Аламбера). Плоскі хвилі. 4-хвильовий вектор і ефект Доплера. Червоний зсув. Сферичні хвилі. Потенціали спізнення і випередження.	2	1	3
13.	Електромагнітне поле точкового заряду. Потенціали Льєнара-Віхерта. Вираз для потенціалів. Точне значення електричного та магнітного полів. Електромагнітне поле заряду, що рухається інерційно.	2	2	4
14.	Випромінювання електромагнітних хвиль точковим зарядом. Випромінювання точкового заряду, що рухається прямолінійно. Циклотронне та синхротронне випромінювання.	2	2	4
15.	Випромінювання нерелятивістських частинок. Хвильова зона. Потенціали електромагнітного поля в хвильовій зоні. Електродипольне випромінювання. Вібратор Герца. Діаграма направленості. Опір випромінювання. Квадрупольне та магнітодипольне випромінювання.	2	2	4
16.	Взаємодія заряджених частинок з випромінюванням. Взаємодія зарядженої частинки з власним випромінюванням. Сила радіаційного тертя. Перенормування маси. Рівняння Дірака-Лоренца.	2	2	4

17.	Випромінювання осцилятора. Природна ширина спектральних ліній. Розсіювання електромагнітних хвиль осцилятором. Диференціальний перетин розсіяння. Розсіювання лінійно поляризованої хвилі, розсіювання циркулярно поляризованої хвилі. Розсіювання електромагнітних хвиль вільними частинками. Формула Томсона.	2	1	3
	ВСЬОГО	12	10	22
ВСЬОГО ЗА СЕМЕСТР		30	30	60

V семестр

№ теми	Назва лекції (тема семінару)	Кількість годин		
		Лекції	Практ.	Сам. робота
Змістовий модуль №4 «Електромагнітні поля в речовині, випромінювання»				
1	Порівняння різних типів випромінювання.	2	2	4
3	Природна ширина ліній випромінювання.	1	1	2
4	Класичний час життя атомів.	1	1	2
5	Випромінювання лінійної антени.	2	2	4
6	Випромінювання в ближній зоні	2	2	4
	ВСЬОГО	8	8	16
Змістовий модуль №5 «Дифракція та інтерференція»				
7	Теорія дифракції Кірхгофа.	2	2	4
8	Математичне формулювання принципу Гюйгенса-Френеля.	2	2	4
9	Дифракція на гаусовій діафрагмі	2	2	4
10	Проходження світла крізь лінзу. Дифракційна теорія фокусної плями	2	2	4
	ВСЬОГО	8	8	16
Змістовий модуль №6 «Взаємодія електромагнітних хвиль з речовиною»				
11	Хвильоводи і резонатори Електромагнітні хвилі у прямокутному та циліндричному хвильоводах та резонаторах.	1	1	2
12	Хвилі Шумана (природна реалізація подвійного сферичного резонатора).	2	2	4
13	Електромагнітне оточення планети Земля	1	1	2
14	Мікроскопічні та макроскопічні рівняння для електромагнітних полів	2	2	4
15	Матеріальні рівняння.	1	1	2
16	Динамічні властивості функцій відгуку. Нелінійні поляризаційні властивості середовища. Теорія діелектричної проникності	2	2	4
17	Фотони і поляритони	2	2	4

18	Симетрія матеріальних параметрів і теорія груп	3	3	6
	ВСЬОГО	14	14	30
ВСЬОГО ЗА СЕМЕСТР		30	30	60

Загальний обсяг **240** год., в тому числі:
 Лекції **60** год.
 Практичні **60** год
 Самостійна робота **120** год

1. Рекомендована література:

Основні джерела:

- [1] О.О.Жмудський, Д.Д.Шека. Основи електродинаміки. Частина 1. К.:Вид-во КНУ, 2000
- [2] A. Zangwill, Modern electrodynamics, Cambridge University Press (2012)
- [3] Jackson J. D., Classical Electrodynamics, John Wiley and Sons, Inc. (1999)
- [4] Griffiths D. J., Introduction to Electrodynamics, Cambridge University Press (2024)
- [5] В.В. Обуховський. Збірник задач з електродинаміки. К. 2003.

Додаткові джерела:

- [6] L.D.Landau, E.M.Lifshitz, The Classical Theory of Fields, Pergamon press. 1994.
- [7] V.V.Batygin; I.N.Toptygin , Problems in Electrodynamics, Academic press, 1978.
- [8] В.Й. Сугаков. Електродинаміка. Київ, Вища школа, 1974.
- [9] А.М.Федорченко. Електродинаміка. Київ, Вища школа, 1974.