КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА

Факультет радіофізики, електроніки та комп'ютерних систем

Кафедра математики та теоретичної радіофізики

«ЗАТВЕРДЖУЮ»
Заступник декана з навчальної роботи

_____ Олексій НЕЧИПОРУК

« ____ » _____ 2022 року

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ
ЕЛЕКТРОДИНАМІКА

для студентів

галузь знань	**10 Природничі науки**
спеціальність	**105 Прикладна фізика та наноматеріали**
освітній рівень	**бакалавр**
освітні програми	**Електроніка та інформаційні технології в медицині** **Прикладна фізика, наноелектроніка та комп'ютерні технології** **Econофізика** **Нанофізика та комп'ютерні технології**
вид дисципліни	**обов'язкова**

Форма навчання	**денна**
Навчальний рік	**2022/2023**
Семестри	**4, 5**
Кількість кредитів ETCS	**8**
Мова навчання	**українська**
Форма заключного контролю	**іспит**

Викладачі:
Денис ШЕКА, доктор фіз.-мат. наук, професор, професор кафедри математики та теоретичної радіофізики,
Вячеслав ОБУХОВСЬКИЙ, доктор фіз.-мат. наук, професор, професор кафедри математики та теоретичної радіофізики,
Андрій НЕТРЕБА, кандидат фіз.-мат. наук, доцент, декан ФРЕКС, кафедра математики та теоретичної радіофізики

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

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

КИЇВ-2022

Розробники:

Денис ШЕКА, доктор фіз.-мат. наук, професор, професор кафедри математики та теоретичної радіофізики,
Вячеслав ОБУХОВСЬКИЙ, доктор фіз.-мат. наук, професор, професор кафедри математики та теоретичної радіофізики,
Андрій НЕТРЕБА, кандидат фіз.-мат. наук, доцент, декан ФРЕКС, кафедра математики та теоретичної радіофізики

«ЗАТВЕРДЖЕНО»
Завідувач кафедри математики та теоретичної радіофізики

_____Володимир ВИСОЦЬКИЙ

Протокол № _____від «___» _____ 2022 року

Схвалено науково-методичною комісією факультету радіофізики, електроніки та комп'ютерних систем
Протокол № від « » _____ 2022 року

Голова науково-методичної комісії_____ Сергій РАДЧЕНКО
« » _____ 2022 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 (для ОП НКТ) Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях
ЗК-2 (для ОП НКТ) Знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності
ЗК-3 (для ОП НКТ) Здатність спілкуватися державною мовою як усно, так і письмово
ЗК-4 (для ОП ПФНТК, ЕІТМ, ЕФ) Здатність спілкуватися державною мовою як усно, так і письмово
ЗК-7 (для ОП НКТ) Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел
ЗК-9 (для всіх ОП) Здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями
ЗК-14 (для ОП НКТ) Здатність бути критичним і самокритичним

Дисципліна спрямована на формування наступних фахових компетентностей:

ФК-1 (для ОП НКТ) Здатність брати участь у плануванні та виконанні наукових та науково-технічних проектів

ФК-8 (для ОП ПФНТК, ЕІТМ, ЕФ) Здатність розуміти і використовувати сучасні теоретичні уявлення в галузі економіки, фізики для пошуку методів можливих рішень

ФК-9 (для ОП ПФНТК, ЕІТМ, ЕФ) Здатність використовувати методи і засоби теоретичного дослідження та математичного моделювання для знаходження спільних рис в фізичних та економічних задачах

ФК-10 (для ОП НКТ) Здатність реалізовувати автоматизацію експериментальних досліджень у різних сферах науки із використанням сучасних комп'ютерних технологій

ФК-11 (для ОП НКТ) 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	практичні заняття	контрольні та	

	потребують використання методів електродинаміки		самостійні роботи	
2.2	Знаходити оптимальну методику, необхідну для розв'язання задачі електродинаміки, проблеми, технічного інженерного завдання	практичні заняття	контрольні та самостійні роботи	

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. Розуміти предметну область сучасної прикладної фізики та математики (для ОП ЕІТМ і ПФНКТ)	+	+	+	+	+	+	+	+	+
ПРН 1. Знати і розуміти сучасну фізику на рівні, достатньому для розв'язання складних спеціалізованих задач і практичних проблем прикладної фізики (для ОП НКТ)	+	+	+	+	+	+	+	+	+
ПРН 2. Застосовувати сучасні математичні методи для побудови й аналізу математичних моделей фізичних процесів (для ОП НКТ)	+	+	+	+	+	+	+	+	+
ПРН 7. Вміти застосовувати фізичні, математичні та комп'ютерні моделі для дослідження фізичних явищ, приладів і наукоємних технологій (для ОП ЕІТМ і ПФНКТ)	+	+	+	+	+	+	+	+	+
ПРН 7. Класифікувати, аналізувати та інтерпретувати науково-технічну інформацію в галузі прикладної фізики (для ОП НКТ)	+	+	+	+	+	+	+	+	+
ПРН 8. Вміти розробляти фізичні основи створення нових технологій (для ОП "Еконофізика")	+	+	+	+	+	+	+	+	+

7. Схема формування оцінки

7.1.форми оцінювання:

- **Семестрове оцінювання**: У першому семестрі передбачено проведення трьох письмових контрольних робіт за матеріалом практичних занять (МКР-1, МКР-2, МКР-3) та 5 тестів за матеріалом лекцій. Модульна контрольна роботи зараховується, якщо студент за даний модуль набрав не менше 9 балів. За кожну модульну контрольну роботу нараховується максимум по 12 балів. Активність на практичних заняттях оцінюється максимум в 5 балів. По результатах семестрового оцінювання студент може отримати максимум 60 балів. Умови допуску до заліку в першому семестрі: студент

повинен мати зарахованими всі модульні контрольні роботи та набрати під час семестру не менше за 36 балів.

У другому семестрі передбачено проведення трьох письмових контрольних робіт за матеріалом практичних занять (МКР-4, МКР-5, МКР-6). За кожну модульну контрольну роботу нараховується максимум по 10 балів. Активність на практичних заняттях оцінюється максимум в 10 балів. По результатах семестрового оцінювання студент може отримати максимум 40 балів. Умови допуску до підсумкового іспиту в другому семестрі: студент повинен мати зарахованими всі модульні контрольні роботи та набрати під час семестру не менше за 21 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 першому семестрі (у формі заліку):** форма заліку – письмово-усна. Білет іспиту складається із 3 питань:

1. теоретичне питання (оцінюється від 0 до 15 балів), тестовий приклад до цього питання (оцінюється від 0 до 5 балів);

2. практична задача (оцінюється від 0 до 10 балів);

3. практична задача (оцінюється від 0 до 10 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 залік не може бути меншою 20 балів.

– **Підсумкове оцінювання у другому семестрі (у формі іспиту):** форма іспиту – письмово-усна. Екзаменаційний білет іспиту складається із 4 питань:

4. теоретичне питання (оцінюється від 0 до 15 балів);

5. теоретичне питання (оцінюється від 0 до 15 балів)

6. практична задача (оцінюється від 0 до 15 балів);

7. практична задача (оцінюється від 0 до 15 балів).

Всього за іспит можна отримати від 0 до 60 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 21 бал. 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 про порядок оцінювання знань студентів при кредитно-модульній системі організації навчального процесу” від 1 жовтня 2010 року.

7.2. Організація оцінювання

Оцінювання за формами контролю:

1 семестр

Семестрова робота	Кількість балів	
	Min — 36	Max — 60
Активність на практичних заняттях	2	5
Виконання домашніх завдань	2	4
Модульна контрольна робота 1	9	12
Модульна контрольна робота 2	9	12
Модульна контрольна робота 3	9	12
Тест № 1	1	3
Тест № 2	1	3
Тест № 3	1	3
Тест № 4	1	3
Тест № 5	1	3

2 семестр

Семестрова робота	Кількість балів	
	Min — 21	Max — 40
Активність на практичних заняттях	3	10
Модульна контрольна робота 4	6	10
Модульна контрольна робота 5	6	10
Модульна контрольна робота 6	6	10

Орієнтований графік оцінювання:
1 семестр

Форма оцінювання	Орієнтовний період для здійснення відповідної форми оцінювання
Модульна контрольна робота 1	березень
Модульна контрольна робота 2	квітень
Модульна контрольна робота 3	травень
Добір балів/додаткова контрольна робота	травень-червень
Залік	червень

2 семестр

Форма оцінювання	Орієнтовний період для здійснення відповідної форми оцінювання
Модульна контрольна робота 4	жовтень
Модульна контрольна робота 5	листопад
Модульна контрольна робота 6	грудень
Добір балів/додаткова контрольна робота	листопад-грудень
Іспит	грудень

Розрахунок балів, які отримують при успішній здачі заліку:

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

Розрахунок балів, які отримують при успішній здачі іспиту:

Значення	Змістовні модулі	Іспит	Підсумкова оцінка
Мінімум	21	39	60
Максимум	40	60	100

7.3. 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 полу. 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.	Тривимірна форма 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 диафрагмі	**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 хвилеводах 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**

Самостійна робота студентів (СРС).

	Тема СРС
1.	Додаткові методи розв’язування електро- і магнето-статичних задач.
2.	Скалярний потенціал в дальній зоні.
3.	Просторові характеристики випромінювання в ближній зоні.
4.	Ефективний опір антен різних типів.

5.	Структура полів у циліндричному хвилеводі і резонаторі.
6.	Сферичний резонатор.
7.	Співвідношення Крамерса-Кронінга.
8.	Використання теорії груп при розрахунках матеріальних параметрів, що описуються тензорами третього рангу.

Примітка: всі питання СРС включаються до екзаменаційних білетів

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

9. Рекомендована література:

Основні джерела:

[1] О.О.Жмудський, Д.Д.Шека. Основи електродинаміки. Частина 1. К.:Вид-во КНУ, 2000
[2] L.D.Landau, E.M.Lifshitz, The Classical Theory of Fields, Pergamon press. 1994.
[3] V.V.Batygin; I.N.Toptygin , Problems in Electrodynamics, Academic press, 1978.
[4] J. Jackson Classical Electrodynamics, Wiley, 1998.
[5] В.Й. Сугаков. Електродинаміка. Київ, Вища школа, 1974.
[6] А.М.Федорченко. Електродинаміка. Київ, Вища школа, 1974.
[7] В.В.Пілінський. Технічна електродинаміка та поширення радіохвиль. КПІ, 2014 р.
[8] В.А.Головацький. Електродинаміка. Чернівці, 2015 р.
[9] Клубіс Я.Д., Шкатуляк Н.М. Основи електродинаміки. Одеса, 2020 р.
[10] В.В. Обуховський. Збірник задач з електродинаміки. К. 2003.
[11] С.І.Пільтяй. Технічна електродинаміка та поширення радіохвиль. Практикум, КПІ, 2021 р.

Додаткові джерела:

[12] М.В.Дудик, Ю.В.Діхтяренко. Електродинаміка. Умань, 2015 р.
[13] О.Т.Фіалковський, А.Г.Дочкін, Т.Т.Бондаренко. Технічна електродинаміка. Київ, 2018 р.