



# Електромагнітне поле в середовищі

## Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

### Реквізити навчальної дисципліни

<b>Рівень вищої освіти</b>	<b>Перший (бакалаврський)</b>
<b>Галузь знань</b>	10 Природничі науки
<b>Спеціальність</b>	104 Фізика та астрономія
<b>Освітня програма</b>	Комп'ютерне моделювання фізичних процесів
<b>Статус дисципліни</b>	Вибіркова
<b>Форма навчання</b>	очна(денна)
<b>Рік підготовки, семестр</b>	4 курс, весняний семестр
<b>Обсяг дисципліни</b>	120 годин (26 годин – лекції, 13 годин – практичні)
<b>Семестровий контроль/ контрольні заходи</b>	Залік/МКР/ДКР
<b>Розклад занять</b>	<a href="http://rozklad.kpi.ua/Schedules/ScheduleGroupSelection.aspx">http://rozklad.kpi.ua/Schedules/ScheduleGroupSelection.aspx</a>
<b>Мова викладання</b>	Українська
<b>Інформація про керівника курсу / викладачів</b>	Лектор: професор Бродин Олександр Михайлович, <a href="mailto:alex.brodin@gmail.com">alex.brodin@gmail.com</a> , моб. +38(097)368-19-18 Практичні: професор Бродин Олександр Михайлович, <a href="mailto:alex.brodin@gmail.com">alex.brodin@gmail.com</a> , моб. +38(097)368-19-18
<b>Розміщення курсу</b>	<a href="https://campus.kpi.ua">https://campus.kpi.ua</a>

## Програма навчальної дисципліни

### 1. Опис навчальної дисципліни, її мета, предмет вивчення та результати навчання

**Опис дисципліни.** Дисципліна “Електромагнітне поле в середовищі” належить до циклу дисциплін професійної підготовки і вивчається студентами у 8-му семестрі навчання за спеціальністю 104 Фізика та астрономія. Дисципліна є складовою курсу теоретичної фізики і відіграє роль фундаментальної фізико-математичної бази для успішної діяльності фахівця з фізики. Учні отримують теоретичну підготовку в області електродинаміки, і також набувають навичок практичного застосування набутих знань для успішного розв’язування задач теоретичної та прикладної фізики. Практичних заняття орієнтовані на навчання розв’язку практичних задач з використанням математичного апарату теоретичної фізики.

**Предмет навчальної дисципліни:** Електродинаміка: Електромагнітне поле провідників та систем зарядів. Поле в середовищі. Закони, методи та засоби електродинаміки як складові процесу фізичних досліджень.

**Міждисциплінарні зв’язки.** Дисципліна “Електромагнітне поле в середовищі” є неодмінною частиною класичної програми підготовки спеціалістів в області фізики, і спрямована на формування у студентів базових понять, вмінь та навичок стосовно процесів, явищ та законів електродинаміки.

**Мета навчальної дисципліни.** Метою навчальної дисципліни є формування у студентів здатності використовувати фундаментальні фізичні поняття, основні принципи і закони для опису стану макроскопічних систем, оперувати фундаментальними фізичними поняттями та законами при вирішенні конкретних практичних задач фізики, і таким чином створюючи базу для подальшого оволодіння дисциплінами циклу професійно-практичної підготовки.

### Основні завдання навчальної дисципліни

#### Знання:

- концептуальних підходів електродинаміки до вивчення фізичних явищ;
- основ формалізму теорії поля та електродинаміки суцільних середовищ;
- основних закономірностей хвильових електромагнітних процесів у вакуумі та суцільних середовищах різної природи;
- теорія хвильової оптики;
- методик розв’язання задач з електродинаміки.

#### Уміння:

- складати математичні моделі задач електродинаміки;
- аналізувати та інтерпретувати отримані результати розв’язання задач;
- застосовувати закони електродинаміки для аналізу електромагнітних властивостей макросистем та їх взаємодії з електромагнітним полем;
- розраховувати поле довільних розподілів зарядів та магнітних диполів;
- розраховувати поле в матеріалах довільної форми, що знаходяться в електромагнітному полі;
- виконувати необхідні розрахунки в професійній діяльності;

#### Досвід:

- складання математичних моделей задач електродинаміки макроскопічних середовищ, розв’язання цих задач;
- визначення оптимальної методики розв’язання задач та постановки дослідів з електродинаміки;
- правильного використання загальнонаукової та спеціальної термінології;
- самостійного здобування знань, використовуючи традиційні і сучасні освітні та інформаційні

- технології;  
- підходу до вирішення задач, що постають в процесі професійної діяльності, обираючи методи дослідження на основі наукового світогляду

### **Програмні результати навчання**

#### **Компетентності:**

- ЗК1.Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу.
- ЗК3.Навички використання інформаційних і комунікаційних технологій.
- ЗК4.Здатність бути критичним і самокритичним.
- ФК1.Знання і розуміння теоретичного та експериментального базису сучасної фізики та астрономії.
- ФК9.Здатність працювати з джерелами навчальної та наукової інформації.
- ФК12.Усвідомлення професійних етичних аспектів фізичних та астрономічних досліджень.
- ФК15.Дотримання принципів академічної доброчесності разом з професійною гнучкістю.
- ФК18. Здатність захищати інтелектуальну власність, зокрема вміти патентувати корисні моделі та винаходи.
- ПРН1. Знати, розуміти та вміти застосовувати на базовому рівні 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/або астрономії.
- ПРН17.Вміти розуміти історію та закономірності розвитку фізики та астрономії
- ПРН19.Вміти розповісти та пояснити місце фізики та астрономії у загальній системі знань про природу і суспільство та у розвитку суспільства, техніки та технологій.

#### **2. Пререквізити та постреквізити дисципліни (місце в структурно-логічній схемі навчання за відповідною освітньою програмою)**

Вивчення даного кредитного модуля базується на дисциплінах «Загальна фізика. Механіка», «Загальна фізика. Електрика та магнетизм», «Теоретична фізика. Класична механіка», «Теоретична фізика. Електродинаміка» «Математичний аналіз», «Основи векторного та тензорного аналізу», «Аналітична геометрія та лінійна алгебра», «Диференціальні та інтегральні рівняння».

#### **3. Зміст навчальної дисципліни**

##### **Лекційні заняття**

Розділ 1. Теорія Максвела як основа електродинаміки

1.1. Фундаментальні рівняння Максвела у вакуумі. Додаткові закони: Сила Лоренца, рівняння неперервності.

1.2. Параметри матерії на мікроскопічних масштабах: густини заряду, струму. Їх усереднення.

Розділ 2. Поля розподілів зарядів та магнітних диполів

2.1. Електричні поля неперервних розподілів заряду

2.2. Рівняння Пуассона та Лапласа для потенціалу, граничні умови.

2.3. Методи розв'язку рівнянь Пуассона та Лапласа. Теорема унікальності розв'язку.

2.4. Теорія електропровідності метала.

2.5. Статичні магнітні поля, їх джерела та методи описання.

2.6. Поле намагніченого об'єкта.

Розділ 3. Електромагнітне поле в середовищі

3.1. Електричне поле в матерії. Поларизованість. Поле поляризованого об'єкта.

3.2. Усереднення мікроскопічного поля. Макроскопічне поле в матерії.

3.3. Додаткове поле електричної індукції. Умови на границі середовищ.

3.4. Вектор напруженості магнітного поля  $\mathbf{H}$ , його циркуляція. Умови на границі двох матеріалів.

3.5. Методи знаходження поля: а) прямий, б) через густини струмів, в) через фіктивні магнітні заряди.

3.6. Магнітні властивості речовин. Діа- та парамагнетики, феромагнетики. Надпровідники: ефект Майснера.

3.7. Змінні електромагнітні поля. Макроскопічні рівняння Максвелла.

3.8. Енергію та робота електромагнітного поля. Теорема Пойнтинга.

3.9. Імпульс електромагнітного поля, його густина та потік. Тензор напружень Максвелла.

Розділ 4. Хвильова оптика

4.1. Хвильове рівняння.

4.2. Електромагнітні хвилі в прозорому середовищі.

4.3. Відбиття, заломлення на границі двох лінійних середовищ. Умови на границі. Формули Френеля.

4.4. Дисперсія. Хвильовий пакет. Фазова та групова швидкості.

4.5. Класична теорія дисперсії.

4.6. Показник заломлення та оптичні властивості провідника (метала).

## Практичні заняття

1. Основні рівняння теорії електромагнітного поля: Рівняння Максвелла. Рівняння Лапласа, та Пуассона, методи їх розв'язку.
2. Електропровідність металів, класична теорія.
3. Властивості надпровідників. Поверхневі збудження в провідниках, плазмони.
4. Діелектрики та магнетики в електромагнітному полі.
5. Електромагнітні хвилі.
6. Відбиття та заломлення. Формули Френеля. Дисперсія.

## 4. Навчальні матеріали та ресурси

### Основна література

Решетняк С.О. Теоретична фізика. Електродинаміка: навч. посіб. для здобувачів ступеня бакалавра за спеціальністю 104 «Фізика та астрономія» / С.О. Решетняк. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 196 с.

Клубіс Я. Д. Основи електродинаміки : навч. посібник / Я. Д. Клубіс, Н. М. Шкатуляк. - Одеса : ПНПУ імені К. Д. Ушинського, 2020. - 204 с.

<http://dspace.pdpu.edu.ua/jspui/handle/123456789/10249>

### Допоміжна література

1. L.D. Landau and E.M. Lifshitz "Electrodynamics of Continuous Media". – Pergamon Press, 1971. – 374 p.
2. David J. Griffiths, Introduction to electrodynamics. Pearson Education Limited 2014.
3. N. W. Ashcroft, N. D. Mermin, Solid State Physics. Philadelphia: CBS Publishing 1976.

## Навчальний контент

### 5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

#### Лекційні заняття (денна форма навчання)

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, посилання на літературу та завдання на СРС)
1	<b>Лекція 1.</b> Теорія Максвелла: Рівняння теорії у вакуумі. Додаткові рівняння: сила Лоренца, рівняння неперервності. Макроскопічні густини заряду та струму, усереднення. Література: [1], 2.2, 5.3.
2	<b>Лекція 2.</b> Електричне поле провідників та розподілів заряду. Задачі Пуассона та Лапласа, методи їх розв'язку. Література: [1], 1.1 – 1.5.
3	<b>Лекція 3.</b> Електропровідність металу. Теорія Дебая. Плазменна частота. Динамічна електропровідність. Телеграфні рівняння. Опір провідника змінному струму. Література: [3], 1.
4	<b>Лекція 4.</b> Електричне поле в речовині. Поларизованість. Поле поляризованого об'єкта. Зв'язані поляризаційні заряди, їх об'ємна та поверхнева густина. Методи розрахунку поля (прямий через густини зарядів; та з допомогою рівнянь Лапласа та Пуассона). Література: [1], 2.6 – 2.7.
5	<b>Лекція 5.</b> Поле в середовищі: Усереднення макроскопічних полів. Література: [2], 4.2.3.
6	<b>Лекція 6.</b> Додаткове поле електричної індукції. . Умови на границі середовищ. Лінійні матеріали та умови на границі для них. Діелектрична сприйнятливість та проникність. Нелінійні діелектрики. Анізотропні діелектрики. Література: [1], 2.6 – 2.8.
7	<b>Лекція 7.</b> Статичні магнітні поля. Векторний потенціал. Магнітний диполь, його поле. Намагніченість. Література: [1], 4.29.
8	<b>Лекція 8.</b> Поле намагніченого об'єкта. Молекулярні струми, густина зв'язаного об'ємного та поверхневого струмів. Вектор напруженості магнітного поля $\mathbf{H}$ , його циркуляція. Умови на границі двох матеріалів. Література: [1], 4.29.

9	<p><b>Лекція 9.</b> Змінні електричні та магнітні поля.</p> <p>Рівняння Максвелла, поправка (доданок) Максвелла. Рівняння Максвелла в інтегральній формі. Умови на границі двох матеріалів.</p> <p>Література: [1], 9.56.</p>
10	<p><b>Лекція 10.</b> Енергія та робота електромагнітного поля..</p> <p>Густина енергії поля, потік енергії. Теорема Пойнтинга. Рівняння неперервності (закон збереження енергії). Енергія поля та її густина в лінійних матеріалах.</p> <p>Література: [2], 8.1.</p>
11	<p><b>Лекція 11.</b> Імпульс поля. Тензор напружень Максвелла.</p> <p>Закон збереження імпульсу. Імпульс поля, його густина; потік імпульсу та його густина.</p> <p>Література: [2], 8.2.</p>
12	<p><b>Лекція 12.</b> Електромагнітні хвилі.</p> <p>Хвильове рівняння. Електромагнітні хвилі в прозорому середовищі, їх властивості.</p> <p>Література: [1], 9.63 – 9.64.</p>
13	<p><b>Лекція 13.</b> Розповсюдження електромагнітних хвиль.</p> <p>Відбиття, заломлення. Умови на границі. Формули Френзеля. Суперпозиція хвиль з різними частотами. Дисперсія. Хвильовий пакет. Фазова та групова швидкості.</p> <p>Література: [1], 9.62, .10.66 – 10.67.</p>

### Практичні заняття (денна форма навчання)

№ з/п	Назва практичного заняття	Кількість ауд. годин
1	Рівняння Максвелла. Рівняння Лапласа, Пуасона, методи розв'язку.	2
2	Теорія електропровідності Дебая.	2
3	Поверхневі збудження в метал. Властивості надпровідників. Поле диполя.	2
4	Діелектрики та магнетики в електромагнітному полі.	2
5	Електромагнітні хвилі.	2
6	Відбиття та заломлення. Формули Френзеля. Дисперсія.	2

### 6. Самостійна робота студента

Самостійна робота студента є основним засобом засвоєння навчального матеріалу у вільний від навчальних занять час і включає:

№ з/п	Вид самостійної роботи	Кількість годин СРС
1	Підготовка до аудиторних занять	26
2	Підготовка до МКР	6
3	Підготовка до екзамену	20

### 7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Система вимог, які ставляться перед студентом:

- відвідування лекційних та практичних занять є обов'язковою складовою вивчення матеріалу;
- на лекції викладач користується власним презентаційним матеріалом; використовує зум та гугл-міт для викладання матеріалу лекційних, практичних та лабораторних занять, розв'язки практичних завдань та модульних контрольних робіт завантажуються студентами в гугл-клас;
- питання на лекції задаються у відведений для цього час;
- для захисту практичної або розрахункової роботи необхідно розв'язати відповідні задачі, завантажити розв'язок в гугл-клас та відповісти на запитання;
- модульні контрольні роботи пишуться без застосування допоміжних засобів (мобільні телефони, планшети та сін.); результат завантажується до гугл-класу;
- заохочувальні бали виставляються за: активну роботу на практичних заняттях; участь у факультетських та інститутських олімпіадах з фізики, участь в університетських конференціях з доповіддю, яка стосується сучасних досягнень з фізики у технологічному світі. Кількість заохочуваних балів не більше 10.

### 8. Види контролю та рейтингова система оцінювання результатів навчання (PCO)

Рейтинг студента денної форми навчання складається з балів, що він отримує за:

- 1) виконання домашніх завдань;
- 2) 4 експрес-контролі;
- 3) модульну контрольну роботу;
- 4) домашню контрольну роботу.

#### Система рейтингових балів та критерії оцінювання

##### Виконання домашніх завдань:

Протягом семестру відбувається захист двох домашніх завдань, вибраних викладачем випадковим чином. Максимальна оцінка за одне захищене домашнє завдання – 10 балів. Конкретно:

- вичерпне пояснення всіх розв'язаних задач і відповідь на всі запитання викладача - 9-10 балів;
- переважно повне пояснення всіх розв'язаних задач з несуттєвими неточностями - 7-8 балів;
- пояснення розв'язаних задач з суттєвими недоліками - 5-6 балів;
- незадовільне виконання або пояснення розв'язаних задач - 0 балів.

##### Експрес-контролі:

Протягом семестру на практичних заняттях проводяться експрес-контролі (5 хвилин), в яких міститься одне коротке завдання за змістом поточного матеріалу.

Повна правильна відповідь – 5 балів.

Неповна відповідь або відповідь з незначними помилками – 3-4 бали.

Відповідь з грубими помилками – 1-2 бали.

Відсутність відповіді – 0 балів.

Про проведення експрес-контролю викладач повідомляє заздалегідь. Кількість проведених експрес-контролів – 4. Таким чином максимально студент може набрати протягом семестру 20 балів.

Крім того, проявляючи активність на практичних заняттях у вигляді численних вірних відповідей з місця або численних добрих відповідей при розв'язуванні задач біля дошки, студент може набрати до 6 заохочувальних балів.

### **Модульна контрольна робота:**

Модульна контрольна робота складається з 4-х задач, кожна з яких оцінюється у 10 балів. За модульну контрольну студент максимально може отримати 40 балів. Мінімальна кількість балів, за умови якої контрольна вважається зданою – 20. Бали за виконання завдань нараховуються таким чином:

- повністю правильний розв'язок задачі (правильне оформлення заданих величин з переводом до системи СІ і сформульоване запитання, чіткий схематичний рисунок з позначенням напрямків векторних величин, якщо потрібно, правильний фізичний розв'язок задачі, розрахунок невідомої величини без помилок, записані одиниці вимірювання для всіх фізичних величин) – 10 балів;
- розв'язок задачі виконаний з помилками на рівні математичного обчислення невідомої величини та помилкового вживання розмірності – 7-8 балів;
- розв'язок задачі виконаний частково: основні формули і закони записані вірно, але помилки виникли у перетворенні формул і через це фізичний розв'язок вийшов невірний – 6-7 балів;
- розв'язку задачі немає, але записані основні формули і закони, які потрібні для нього – 4-5 балів;
- розв'язку задачі немає, фізичні формули відсутні, але виконано правильне оформлення заданих величин з переводом до системи СІ і сформульоване запитання, а також зроблено чіткий схематичний рисунок з позначенням напрямків векторних величин – 3 балів;
- розв'язку задачі немає, фізичні формули та схематичний рисунок відсутні, але виконано правильне оформлення заданих величин з переводом до системи СІ і сформульоване запитання – 1-2 бали;

відсутність будь-яких записів щодо завдання та розв'язку чи помилки у записі заданих величин – 0 балів.

### **Домашня контрольна робота:**

Домашня контрольна робота складається з 4-х задач, кожна з яких оцінюється у 5 балів. За модульну контрольну студент максимально може отримати 20 балів. Мінімальна кількість балів, за умови якої контрольна вважається зданою – 10. Бали за виконання завдань нараховуються таким чином:

- повністю правильний розв'язок задачі (правильне оформлення заданих величин з переводом до системи СІ і сформульоване запитання, чіткий схематичний рисунок з позначенням напрямків векторних величин, якщо потрібно, правильний фізичний розв'язок задачі, розрахунок невідомої величини без помилок, записані одиниці вимірювання для всіх фізичних величин) – 4 бали;
- розв'язок задачі виконаний з помилками на рівні математичного обчислення невідомої величини та помилкового вживання розмірності – 3 бали;
- розв'язок задачі виконаний частково: основні формули і закони записані вірно, але помилки виникли у перетворенні формул і через це фізичний розв'язок вийшов невірний – 2 бали;
- розв'язку задачі немає, але записані основні формули і закони, які потрібні для нього – 1 бал;

відсутність будь-яких записів щодо завдання та розв'язку чи помилки у записі заданих величин – 0 балів.

### **Міжсесійна атестація**

За результатами навчальної роботи за перші 7 тижнів максимально можлива кількість балів – 20 балів (2 експрес-контролі, 2 перевірені домашніх завдань). На першій атестації (8-й тиждень) студент отримує «зараховано», якщо його поточний рейтинг не менший ніж 10



балів (у разі якщо студент ще не здавав домашнє завдання на перевірку, то не менше ніж 5 балів).

За результатами 13 тижнів навчання максимально можлива кількість балів – 100 балів (2 експрес-контролі, МКР, одне перевірене домашнє завдання у всіх студентів). На другій атестації (14-й тиждень) студент отримує «зараховано», якщо його поточний рейтинг не менший ніж 60 балів.

Максимальна сума вагових балів контрольних заходів протягом семестру складає:

$$RD = 4 * r_{\text{експ.к.}} + 2 * r_{\text{д.з.}} + 1 * r_{\text{МКР}} + 1 * r_{\text{ДКР}} = 4 * 5 + 2 * 10 + 1 * 40 + 1 * 20 = 100,$$

де  $r_{\text{експ.к.}}$  – бал за експрес-контроль (0...5);

$r_{\text{д.з.}}$  – бал за виконане домашнє завдання (0...10);

$r_{\text{МКР}}$  – бал за написання МКР (0...40);

$r_{\text{ДКР}}$  – бал за написання МКР (0...20);

Додатково до рейтингу додаються заохочувальні бали у разі їх отримання.

Умова допуску до заліку: не менше 30 балів.

Сумарна оцінка за семестр може, за згодою студента, бути надана за результатами семестру (рейтинг). Для покращення оцінки, або у випадку недостатнього семестрового рейтингу, студенти складають залік.

На заліку студенти готують короткі письмові розрахунки та дають усну відповідь. Кожне завдання містить два теоретичних запитання. Кожне запитання в білеті оцінюється у 20 балів за такими критеріями:

- «відмінно», повна відповідь, не менше 90% потрібної інформації (повне, безпомилкове розв'язування завдання) – 20-17 балів;
- «добре», достатньо повна відповідь, не менше 75% потрібної інформації або незначні неточності (повне розв'язування завдання з незначними неточностями) – 16-13 балів;
- «задовільно», неповна відповідь, не менше 60% потрібної інформації та деякі помилки (завдання виконане з певними недоліками) – 12-8 балів;
- «незадовільно», відповідь не відповідає умовам до «задовільно» – 0 балів.

Для об'єктивної оцінки знань студента викладач має право ставити додаткові питання з програми курсу, які не містяться в білеті.

Для визначення сумарних балів за семестр семестровий рейтинг (максимально 100 балів) множиться на 0.6 та до результату додаються залікові бали. Результат переводиться до екзаменаційної оцінки згідно з наступною таблицею.

**Таблиця 1 — Переведення рейтингових балів до оцінок за університетською шкалою**

Кількість балів	Оцінка
100-95	Відмінно
94-85	Дуже добре
84-75	Добре
74-65	Задовільно
64-60	Достатньо
Менше 60	Незадовільно
Не виконані умови допуску	Не допущено

## 9. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)

Робочу програму навчальної дисципліни (Силабус):

**Складено** професор Бродин Олександр Михайлович.

**Ухвалено** кафедрою загальної фізики ФМФ (протокол засідання кафедри № 6 від 06.06.2023 р.).

**Погоджено** Методичною комісією фізико-математичного факультету (протокол № 10 від 27.06.2023 р.)