



# ЕЛЕКТРОДИНАМІКА СУЦІЛЬНИХ СЕРЕДОВИЩ

## 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 Електродинаміка суцільних середовищ відіграє роль фундаментальної фізико-математичної бази, без якої неможлива успішна діяльність фахівця з фізики. Під час навчання студенти отримають теоретичну підготовку в області фізики, набудуть навичок правильного розуміння меж застосування фізичних понять, законів та теорій, що дозволить у майбутньому орієнтуватись в потоці наукової і технічної інформації. На практичних заняттях навчатись розв'язувати практичні задачі, зокрема застосовувати математичний апарат для вирішення певних фізичних задач. Передбачено контроль якості отриманих знань у вигляді модульної контрольної роботи.

**Предмет навчальної дисципліни:** Електродинаміка суцільних середовищ.

**Міждисциплінарні зв'язки.** Дисципліна Електродинаміка суцільних середовищ є невід'ємною складовою курсу теоретичної фізики для студентів фізичної спеціальності.

**Мета навчальної дисципліни.** Метою навчальної дисципліни є формування у студентів здатностей використовувати фундаментальні фізичні поняття, основні принципи і закони для опису стану макроскопічних систем, оперувати фундаментальними фізичними поняттями та законами при вирішенні певних фізичних задач, оволодіти базовим матеріалом для подальшого вивчення дисциплін циклу професійно-практичної підготовки.

### Основні завдання навчальної дисципліни

#### Знання:

- змісту основних положень електродинаміки;
- основних характеристик взаємодії електромагнітного поля з середовищем;
- основних підходів до опису взаємодії електромагнітного поля з середовищем;
- основ хвильової оптики;

#### Уміння:

- 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:

- розв'язання задач з електродинаміки макроскопічних середовищ;
- 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 положен-

ня 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. Молекулярна фізика», «Загальна фізика. Електрика та магнетизм», «Теоретична фізика. Класична механіка», «Математичний аналіз», «Основи векторного та тензорного аналізу», «Аналітична геометрія та лінійна алгебра», «Диференціальні та інтегральні рівняння». Знання, отримані студентами з курсу електродинаміки, використовуються в курсах «Теоретична фізика. Статистична фізика та термодинаміка», «Теоретична фізика. Квантова механіка», «Фізика магнітних явищ», «Фізика твердого тіла», «Теоретична фізика. Електродинаміка» та ін.

## **3. Зміст навчальної дисципліни**

### **Лекційні заняття**

Розділ 1. Мікроскопічні рівняння Максвелла

1.1. Мікроскопічні (вакуумні) рівняння Максвелла.

1.2. Сила Лоренца, рівняння неперервності.

1.3. Мікроскопічні густини заряду та струму, їх усереднення.

Розділ 2. Електромагнітні поля розподілів зарядів та магнітних диполів

2.1. Електростатика провідників та неперервних розподілів заряду

2.2. Поле скінченного розподілу заряду.

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

2.4. Методи розв'язку. Теорема унікальності розв'язку.

2.5. Класична теорія провідності метала.

2.6. Магнетостатика. Магнітний векторний потенціал. Магнітний диполь, його поле. Намагніченість.

2.7. Поле намагніченого об'єкта.

Розділ 3. Електромагнітні поля в середовищі

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

3.2. Макроскопічне поле в матерії, усереднення  $\mathbf{E}$  та  $\mathbf{P}$ .

3.3. Вектор електричної індукції. Закон Гауса. Умови на границі.

- 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. Діа- та парамагнетики. Феромагнетики, їх властивості. Гістерезис. Надпровідники: ефект Майснера.
  - 3.7. Змінні електричні та магнітні поля. Макроскопічні рівняння Максвелла.
  - 3.8. Робота електромагнітного поля. Теорема Пойнтинга.
  - 3.9. Тензор напружень Максвелла. Закон збереження імпульсу. Імпульс поля, його густина; потік імпульсу та його густина.
- 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. Рівняння Максвелла. Рівняння Лапласа, методи розв'язку.
2. Провідність, класична модель.
3. Поверхневі плазмони. Провідність надпровідника. Поле диполя. Деякі векторні тотожності.
4. Діелектрики та магнетики в електромагнітному полі.
5. Електромагнітні хвилі.
6. Відбиття та заломлення. Формули Френзеля. Дисперсія.

#### **4. Навчальні матеріали та ресурси**

##### Базова література

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	<p><b>Лекція 1.</b> Мікроскопічні (вакуумні) рівняння Максвелла. Сила Лоренца, рівняння неперервності. Мікроскопічні густини заряду та струму, їх усереднення. Література: [1], 2.2, 5.3.</p>
2	<p><b>Лекція 2.</b> Електростатика провідників Поле скінченого розподілу заряду. Рівняння Пуассона та Лапласа для потенціалу, граничні умови. Методи розв'язку. Теорема унікальності розв'язку. Література: [2], 1.1 – 1.5.</p>
3	<p><b>Лекція 3.</b> Класична теорія провідності метала. Плазменна частота, її смисл. Динамічна електропровідність. Телеграфні рівняння. Опір провідника змінному струму. Глибина проникнення (скін-шар). Література: [2], 1.</p>
4	<p><b>Лекція 4.</b> Електричне поле в матерії. 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: [2], 2.6 – 2.7.</p>
5	<p><b>Лекція 5.</b> Макроскопічне поле в матерії. Усереднення <math>\mathbf{E}</math> та <math>\mathbf{P}</math>. Література: [2], 4.2.3.</p>
6	<p><b>Лекція 6.</b> Вектор електричної індукції. . Закон Гауса. Умови на границі. Лінійні матеріали та умови на границі для них. Діелектрична сприйнятливість та проникність. Нелінійні діелектрики. Анізотропні діелектрики. Література: [2], 2.6 – 2.8.</p>
7	<p><b>Лекція 7.</b> Магнетостатика.. Магнітний векторний потенціал. Магнітний диполь, його поле. Намагніченість. Література: [2], 4.29.</p>
8	<p><b>Лекція 8.</b> Поле намагніченого об'єкта. Молекулярні струми, густина зв'язаного об'ємного та поверхневого струмів. Вектор напруженості магнітного поля <math>\mathbf{H}</math>, його циркуляція. Умови на границі двох матеріалів. Література: [2], 4.29.</p>

9	<p><b>Лекція 9.</b> Змінні електричні та магнітні поля.</p> <p>Закон індукції Фарадея. Поляризаційний струм зміщення. Рівняння Максвелла, поправка (доданок) Максвелла. Рівняння Максвелла в інтегральній формі. Умови на границі двох матеріалів.</p> <p>Література: [2], 9.56.</p>
10	<p><b>Лекція 10.</b> Робота електромагнітного поля..</p> <p>Теорема Пойнтинга. Вектор Пойнтинга, густина енергії поля. Рівняння неперервності (закон збереження енергії). Потужність та енергія поля та її густина в лінійних матеріалах.</p> <p>Література: [2], 8.1.</p>
11	<p><b>Лекція 11.</b> 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>Хвилі, хвильове рівняння. Хвильове рівняння електромагнітних хвиль в прозорому середовищі. Властивості електромагнітних хвиль: швидкість, взаємозв'язок <math>\mathbf{E}</math> та <math>\mathbf{B}</math>, енергія, інтенсивність, поляризація.</p> <p>Література: [2], 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: [2], 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, методи розв'язку.	2
2	Провідність, класична модель.	2
3	Поверхневі плазмони. Провідність надпровідника. Поле диполя. Деякі векторні тотожності.	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

## Політика та контроль

### 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 ін.); 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 бали;
- 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 домашні завдання). 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, асистент Ляховецький Володимир Романович, асистент Боднарук Андрій Васильович.

**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.)