

Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича
Навчально-науковий інститут фізико - технічних та комп'ютерних наук
Кафедра термoeлектрики та медичної фізики

“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Директор навчально-наукового інституту
фізико-технічних та комп'ютерних наук

 Олег АНГЕЛЬСЬКИЙ
09 серпня 2024 року

РОБОЧА ПРОГРАМА

навчальної дисципліни

Електродинаміка

(обов'язкова)

Освітньо-професійна програма Прикладна фізика та наноматеріали

Спеціальність 105 Прикладна фізика та наноматеріали

Галузь знань 10 Природничі науки

Рівень вищої освіти Перший (бакалаврський)

Навчально-науковий інститут фізико-технічних та комп'ютерних наук

Мова навчання Українська

Чернівці 2024 рік

Робоча програма навчальної дисципліни «Електродинаміка» складена відповідно до освітньо-професійної програми «Прикладна фізика та наноматеріали» підготовки здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти за спеціальністю 105 Прикладна фізика та наноматеріали галузі знань 10 Природничі науки, затвердженої Вченою радою Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича (Протокол № 6 від «26» травня 2022 року).

Розробник:

Головацький Володимир Анатолійович, професор, доктор фізико-математичних наук, професор.

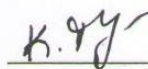
Викладач:

Головацький Володимир Анатолійович, професор, доктор фізико-математичних наук, професор.

Погоджено з гарантом ОП і затверджено на засіданні кафедри термoeлектрики та медичної фізики ННІФТКН ЧНУ імені Юрія Федьковича

Протокол № 1 від 09 серпня 2024 року

В.о. завідувача кафедри



Кобилянський Р.Р.

Схвалено методичною радою ННІФТКН

Протокол № 1 від 09 серпня 2024 року

Голова методичної ради ННІФТКН



Козярьський І.П.

Пояснювальна записка

Мета навчальної дисципліни

Метою навчальної дисципліни є детальне ознайомлення з основними поняттями, законами, положеннями, методами електродинаміки, як одного з розділів теоретичної фізики та формування в майбутнього фізика цілісної картини фізичних явищ, пов'язаних із електромагнітним полем.

Пререквізити. Знання отримані за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти з курсів: «Векторний і тензорний аналіз», «Електрика та магнетизм» та «Оптика», Теоретична механіка».

Завдання вивчення навчальної дисципліни:

- Засвоєння фундаментальних законів електростатики, магнітостатики та електродинаміки у вакуумі та середовищі.
- Формування уявлень про структуру та фізичний зміст рівнянь Максвелла і способи їх застосування.
- Вивчення основ спеціальної теорії відносності та її зв'язку з електродинамікою.
- Опрацювання методів опису електромагнітного поля в коваріантній формі.
- Оволодіння поняттями хвильових процесів, електромагнітного випромінювання.
- Аналіз властивостей електромагнітного поля у суцільному середовищі, зокрема в діелектриках, провідниках та плазмі.
- Розвиток уміння застосовувати математичні методи та фізичні моделі для розв'язання задач електродинаміки.

1. Результати навчання

Відповідно до освітньо-професійної програми «Прикладна фізика та наноматеріали», вивчення дисципліни «Електродинаміка» сприяє формуванню у здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти таких *компетентностей*:

Інтегральна компетентність:

ІК. Здатність розв'язувати складні спеціалізовані задачі та практичні проблеми прикладної фізики та наноматеріалів, що передбачає застосування теорій та методів фізики, математики та інженерії й характеризується комплексністю та невизначеністю умов

Загальних:

ЗК1. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.

ЗК2. Знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності.

Фахових:

ФК2. Здатність брати участь у плануванні і виконанні експериментів та лабораторних досліджень властивостей фізичних систем, фізичних явищ і процесів, обробленні й презентації їхніх результатів.

ФК6. Здатність використовувати сучасні теоретичні уявлення в галузі фізики для аналізу фізичних систем

Програмних результатів навчання:

РН1. Знати і розуміти сучасну фізику на рівні, достатньому для розв'язання складних спеціалізованих задач і практичних проблем прикладної фізики.

РН2. Застосовувати сучасні математичні методи для побудови й аналізу математичних моделей фізичних процесів.

РН3. Застосовувати ефективні технології, інструменти та методи експериментального дослідження властивостей речовин і матеріалів, включаючи наноматеріали, при розв'язанні практичних проблем прикладної фізики.

РН4. Застосовувати фізичні, математичні та комп'ютерні моделі для дослідження фізичних явищ, розробки приладів і наукоємних технологій.

РН12. Розуміти закономірності розвитку прикладної фізики, її місце в розвитку техніки, технологій і суспільства, у тому числі в розв'язанні екологічних проблем.

Отримані знання та навички дадуть змогу студентам аналізувати та моделювати електромагнітні явища у вакуумі й середовищі, розв'язувати задачі електродинаміки та застосовувати принципи спеціальної теорії відносності в фізичних дослідженнях.

У результаті вивчення навчальної дисципліни студент повинен

знати:

Основні закони електростатики, магнітостатики та електродинаміки.
 Фізичний зміст та математичну форму рівнянь Максвелла.
 Принцип суперпозиції, закон збереження заряду, закон повного струму.
 Основи спеціальної теорії відносності, зокрема перетворення Лоренца та їх наслідки.
 Поняття 4-векторів, тензора електромагнітного поля та інваріантів.
 Принцип дії та лагранжіан для зарядженої частинки і електромагнітного поля.
 Властивості електромагнітних хвиль у вакуумі та середовищах.
 Закони поширення, дисперсії та поглинання хвиль у провідниках, діелектриках, плазмі.
 Основи теорії випромінювання прискорених зарядів та механізм випромінювання Черенкова.

уміти:

Застосовувати рівняння Максвелла для аналізу електромагнітних процесів у вакуумі та середовищі.
 Розв'язувати задачі електростатики та магнітостатики з використанням аналітичних методів.
 Обчислювати потенціали та поля для заданих конфігурацій зарядів і струмів.
 Застосовувати принцип суперпозиції та методи мультипольного розкладу.
 Використовувати перетворення Лоренца для переходу між інерціальними системами відліку.
 Аналізувати рух заряджених частинок у електромагнітному полі в рамках спеціальної теорії відносності.
 Формулювати рівняння руху з принципу найменшої дії для зарядженої частинки.
 Розраховувати характеристики електромагнітних хвиль: довжину, частоту, енергію.
 Аналізувати поведінку хвиль у діелектриках, провідниках, плазмі та обчислювати глибину проникнення (скін-ефект).
 Аналізувати явища випромінювання та розраховувати їх характеристики.

Опис змісту робочої програми навчальної дисципліни Загальна інформація про розподіл годин

Назва навчальної дисципліни Програмування та математичне моделювання												
Форма навчання	Курс	Семестр	Кількість			Кількість годин						Вид підсумкового контролю
			кредитів	годин	змістових модулів	лекції	практичні	семінарські	лабораторні	самостійна робота	індивідуальні завдання	
Денна	3	6	7	210	2	75	30			105		екзамен

Структура змісту навчальної дисципліни

Назви змістових модулів і тем	Кількість годин					
	усього	у тому числі				
		л	п	лаб	інд	с.р.
1	2	3	4	5	6	7
Змістовий модуль 1	Електродинаміка у вакуумі. Спеціальна теорія відносності					
Тема 1. Електростатика.	36	10	6			20
Тема 2. Магнітостатичні явища у вакуумі	24	6	4			14
Тема 3. Електромагнітні процеси у вакуумі	20	8	2			10
Тема 4. Спеціальна теорія відносності	20	8	2			10
Разом за ЗМ 1	100	32	14			54

Змістовий модуль 2	Фізичні закони в коваріантній формі. Електромагнітні хвилі. Електродинаміка суцільного середовища					
Тема 5. Закони електродинаміки в коваріантній формі. Механіка спеціальної теорії відносності	24	9	4			11
Тема 6. Електромагнітні хвилі.	22	8	4			10
Тема 7. Поле рухомих зарядів та випромінювання.	20	8	2			10
Тема 8. Електродинаміка суцільного середовища.	26	10	4			12
Тема 9. Дисперсія діелектричної проникності	18	8	2			8
Разом за ЗМ 2	110	43	16			51
Усього годин	210	75	30			105

Тематика лекційних занять з переліком питань

№	Назва теми лекції
1.	Історія розвитку класичної електродинаміки. Еволюція уявлень про електромагнітне поле
2.	Закон Кулона. Напруженість електричного поля. Математичне зображення густини точкового заряду за допомогою δ -функції
3.	Теорема Остроградського – Гаусса. Робота сил електростатичного поля. Потенціал. Рівняння Пуассона і Лапласа
4.	Методи розв'язування задач електростатики. Провідники в електричному полі. Метод зображень для розв'язування задач з електростатики. Метод функцій Гріна. Метод конформних відображень
5.	Потенціал на великій відстані від системи зарядів. Мультипольні моменти системи
6.	Енергія взаємодії системи зарядів. Енергія електростатичного поля. Власна енергія системи
7.	Система зарядів у зовнішньому електричному полі
8.	Нестійкість електростатичних систем зарядів. Теорема Ірншоу. Закон збереження заряду (рівняння неперервності)
9.	Магнітне поле стаціонарних струмів. Закон Біо-Савара – Лапласа. Сила Лоренца
10.	Векторний потенціал магнітного поля. Диференціальні рівняння магнітного поля. Циркуляція напруженості магнітного поля. Закон повного струму
11.	Магнітне поле у вакуумі на великих відстанях від системи. Магнітний момент. Магнітний момент атома. Гіромагнітне (магнітомеханічне) відношення
12.	Система рівнянь Максвелла. Узагальнений закон електромагнітної індукції Фарадея. Перша пара рівнянь Максвелла. Струми зміщення. Друга пара рівнянь Максвелла. Система рівнянь Максвелла як результат узагальнених експериментальних даних
13.	Потенціали електромагнітного поля. Калібрувальна або градієнтна інваріантність. Система рівнянь для потенціалів. Вектор Герца. Зв'язок напруженості полів з вектором Герца
14.	Закон збереження енергії, імпульсу та заряду в електромагнітному полі. Вектор Умова Пойтінга
15.	Принцип відносності Галілея. Перетворення Галілея. Рівняння Максвелла та перетворення Галілея, гіпотеза ефіру. Основні положення теорії відносності. Перетворення Лоренца. Наслідки перетворень Лоренца. Відносність одночасності. Співвідношення між довжинами та проміжками часу. Закон додавання швидкостей
16.	Просторово-часовий інтервал. Простір Мінковського. Перетворення Лоренца як поворот у чотиривимірному просторі. Чотиривимірна, або комплексна форма перетворень Лоренца
17.	Скаляри, вектори і тензори в чотиривимірному просторі. Рівняння для потенціалів у коваріантному вигляді. 4-вектор густини струму
18.	Рівняння поля в тензорній формі. Тензор електромагнітного поля
19.	Перетворення Лоренца для компонент поля. Інваріанти електромагнітного поля
20.	Рівняння руху тіла в спеціальній теорії відносності. 4-вимірні швидкість, прискорення, імпульс і сила. Формула Ейнштейна

21.	Релятивістська механіка системи часток. Швидкість руху центра інерції системи. Закони збереження у релятивістській механіці
22.	Принцип найменшої дії в релятивістській механіці. Функція Лагранжа та Гамільтона для вільної релятивістської частки
23.	Заряд в електромагнітному полі. Функції Лагранжа та Гамільтона для заряду в електромагнітному полі. Рівняння руху релятивістського заряду в електромагнітному полі
24.	Хвильове рівняння. Плоскі та сферичні електромагнітні хвилі
25.	Монохроматичні плоскі електромагнітні хвилі. Ефект Доплера для електромагнітних хвиль
26.	Запізнювальні та випереджаючі потенціали в електродинаміці. Електромагнітне поле заряду, який рухається прискорено. Потенціали Лієнара-Віхерта
27.	Поле випромінювання системи зарядів на великих відстанях. Дипольне випромінювання та інтенсивність випромінювання в дипольному наближенні
28.	Випромінювання гармонічного осцилятора. Реакція випромінювання. Класичний радіус електрона. Природна ширина спектральної лінії
29.	Розсіювання електромагнітних хвиль вільним зарядом. Ефект Комптона. Розсіювання електромагнітних хвиль зв'язаним зарядом. Вплив магнітних і електричних полів на випромінювання (ефекти Зеємана і Штарка)
30.	Мікроскопічні та макроскопічні рівняння електродинаміки. Поляризація середовища. Електрична індукція
31.	Намагнічування середовища та напруженість магнітного поля
32.	Поляризованість і діелектрична проникність середовища. Магнітна сприйнятливості і магнітна проникність середовища
33.	Система рівнянь Максвелла у суцільному середовищі. Граничні умови. Електростатика діелектриків. Енергія електромагнітного поля в діелектриках. Електричні властивості діелектриків. Поляризація неполярних діелектриків з кубічною кристалічною ґраткою. Поляризація полярних діелектриків у постійному електричному полі
34.	Поширення електромагнітних хвиль у діелектрику. Формула Максвелла. Поширення електромагнітних хвиль у провідному середовищі. Скін ефект у провідниках
35.	Частотна дисперсія діелектричної проникності
36.	Зв'язок між діелектричною та магнітною проникностями й енергією, яка поглинається в середовищі. Співвідношення Крамерса-Кроніґа. Групова швидкість електромагнітних хвиль
37.	Теорія дисперсії електромагнітних хвиль для системи гармонічних осциляторів. Дисперсія в провідниках. Дисперсія електромагнітних хвиль у розрідженій плазмі. Поздовжні коливання електромагнітних хвиль
38.	Випромінювання Вавілова – Черенкова

Тематика практичних занять з переліком питань

№	Назва теми (завдання)
1.	Розв'язування задач на обчислення електричного поля для систем точкових зарядів
2.	Задачі на застосування теореми Гаусса для обчислення електричного поля
3.	Розв'язування задач на обчислення потенціалу електростатичного поля
4.	Задачі на використання методу зображень для обчислення електричного поля
5.	Розв'язування задач на визначення енергії електростатичного поля
6.	Задачі на обчислення індукції магнітного поля для стаціонарних струмів за допомогою закону Біо-Савара
7.	Задачі на обчислення сили Лоренца для рухомих зарядів
8.	Розв'язування задач на використання рівнянь Максвелла в вакуумі
9.	Задачі на обчислення енергії електромагнітного поля
10.	Задачі на перетворення Лоренца в спеціальній теорії відносності
11.	Розв'язування задач на застосування принципу відносності в класичній механіці та електродинаміці
12.	Задачі на розв'язування рівнянь хвильових процесів для електромагнітних хвиль
13.	Розв'язування задач на використання дисперсії в середовищах з різною проникаючою здатністю
14.	Задачі на розсіювання електромагнітних хвиль на частках (ефект Комптона)
15.	Задачі на розв'язування задач в резонаторах та хвильоводах

Завдання для самостійної роботи студентів

№	Назва теми
1.	Метод конформних відображень для задач з електростатики
2.	Загальні властивості електромагнітного поля в резонаторах і хвильоводах. Граничні умови на поверхні металу
3.	Коливання у прямокутному резонаторі
4.	Електромагнітні хвилі у хвильоводі. Електромагнітні хвилі у прямокутному хвильоводі
5.	Розв'яжіть задачу для хвильоводу прямокутної форми, розрахуйте основний режим поширення хвиль в ньому. Визначте умови для пропускання хвиль у хвильоводі, використовуючи рівняння Максвелла та граничні умови на стінках хвильоводу.

Контроль виконання завдань, винесених на самостійне опрацювання проводиться в рамках модульного контролю. Бали за цю роботу входять у загальну кількість балів за конкретний модуль.

Методи навчання

Методи навчання:

лекції: проблемний виклад, частково-пошукові та дослідницькі методи, презентації, бесіди і дискусії;

практичні заняття: репродуктивний метод, дослідницький метод;

лабораторні заняття: метод проблемного підходу, дослідницький метод.

Самостійна робота студентів передбачає: конспектування лекційного матеріалу; вивчення теоретичного матеріалу лекційних занять та опрацювання літературних джерел, рекомендованих цією програмою; проведення розрахунків та підготовку звітів з практичних та лабораторних робіт.

Інтерактивні методи навчання: застосуванням електронних мультимедійних комплексів навчальних дисциплін та ресурсів, а також платформи для дистанційного навчання Moodle (<https://moodle.chnu.edu.ua>).

Форми навчальних занять: лекції, лабораторні заняття, практичні заняття, консультації.

Система контролю та оцінювання

Методи контролю

У процесі оцінювання навчальних досягнень застосовуються методи усного і письмового контролю, зокрема такі **засоби оцінювання** та демонстрування результатів навчання:

- *засоби усного контролю:* індивідуальне опитування, фронтальне опитування, презентації результатів виконаних завдань;

- *засоби письмового контролю:* контрольні роботи, тестування, самостійні роботи, виконання та захист лабораторних;

- *засоби самоконтролю:* уміння самостійно оцінювати свої знання, самоаналіз.

У разі проведення навчального процесу та оцінювання у дистанційній формі використовуються засоби Moodle (у тому числі тестування; <https://moodle.chnu.edu.ua> <https://www.classtime.com/>).

Система оцінювання знань є накопичувальною (складається із суми балів за різними видами здійсненого контролю).

Форми контролю

Основними формами поточного контролю є:

- усні відповіді студентів;
- виконання тестових завдань з метою перевірки рівня засвоєння теоретичного матеріалу за навчальними темами;
- усна відповідь студента при здачі лабораторної роботи;
- виконання модульної контрольної роботи (тестування та розв'язання навчально-професійних задач).

Зазначені форми контролю на лекційних, практичних та лабораторних заняттях є обов'язковими для всіх студентів.

Форма підсумкового контролю – екзамен.

Критерії оцінювання поточного та підсумкового контролю навчальних досягнень

Критерії оцінювання навчальних досягнень студентів за результатами поточного контролю

Критеріями оцінювання навчальних досягнень студентів за результатами поточного контролю є:

- Знання теоретичного матеріалу
- Практичні навички
- Самостійність і критичне мислення
- Якість виконання завдань
- Активність на заняттях
- Дотримання термінів виконання завдань
- Академічна доброчесність

Розподіл балів, які отримують студенти за модулі

Поточне оцінювання (аудиторна, самостійна робота та модульний контроль)		Кількість балів (екзамен)	Сумарна к-ть балів
Змістовий модуль №1	Змістовий модуль №2		
T1,T2, T3,T4	T5,T6,T7,T8,T9		
30	30	40	100

T1, T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8, T9 – теми змістових модулів.

Критерії підсумкового оцінювання результатів навчання студентів з навчальної дисципліни

Критерієм підсумкового оцінювання є досягнення студентом певних знань передбаченим результатом навчання, коли студент опанував теоретичними та практичними знаннями навчальної дисципліни.

На екзамен виносяться питання теоретичних знань і практичних навиків студентів з навчальної дисципліни. Екзаменаційні білети містять два теоретичних питання і одну практичну задачу.

Теоретичні питання (пункт 1 і 2 білетів) оцінюються максимальною кількістю балів рівною 15 за наступними критеріями:

- ◆ **13-15 балів:** коли студентом дані правильні вичерпні відповіді на всі поставлені запитання.
- ◆ **9-12 балів:** коли студентом дані правильні відповіді на всі поставлені запитання, але відповіді не зовсім повні, в окремих випадках допущені незначні неточності у формулюванні, окремі моменти не дістали належного з'ясування.
- ◆ **6-8 балів:** коли відповідь студента правильна і становить більше половини матеріалу, що містять питання згідно програми, але присутні істотні помилки.
- ◆ **0-5 балів:** коли не дано правильні відповіді на поставлені запитання, або відповіді надто поверхові, непослідовні і неточні.

Практичне завдання (пункт 3 білетів, тобто програма на Python оцінюються максимальною кількістю балів рівною 10 за наступними критеріями:

- ◆ **10 балів** – Завдання виконано повністю правильно, обґрунтовано, оформлено логічно й структуровано.
- ◆ **8-9 балів** – Загалом правильно, але є незначні неточності.
- ◆ **6-7 балів** – Основна ідея правильна, але є кілька помітних помилок.
- ◆ **4-5 балів** – Присутня спроба виконання завдання, але є серйозні.
- ◆ **2-3 бали** – Невірний підхід або значні помилки при виконанні завдання.
- ◆ **1 бал** – Слабка спроба виконання завдання без логічного пояснення.
- ◆ **0 балів** – Завдання не виконане і спроб виконання не було.

Шкала оцінювання: національна та ЄКТС

Рейтингова оцінка з дисципліни	Оцінка за шкалою ЄКТС	Екзаменаційна оцінка за національною шкалою	Залік за національною шкалою
90-100	A	5 (відмінно)	Зараховано
80-89	B	4 (добре)	
70-79	C	4 (добре)	
60-69	D	3 (задовільно)	
50-59	E	3 (задовільно)	
35-49	Fx	2 (незадовільно) з можливістю повторного складання	Не зараховано
1-34	F	2 (незадовільно) з повторним опрацюванням освітнього компонента	

Критерії підсумкової оцінки як показника результатів вивчення навчальної дисципліни

Згідно шкали ЄКТС загальна кількість балів, яку студент може отримати у процесі вивчення дисципліни, становить 100 балів, з яких 60 балів студент набирає при поточних видах контролю і 40 балів – у процесі підсумкового контролю (екзамен).

Таким чином знання студентів оцінюється як з теоретичної, так і з практичної підготовки за такими критеріями:

«А» 90-100 балів ставиться у разі, якщо студент:	– постійно готувався до занять згідно з програмою дисципліни; – глибоко та всебічно розкривав зміст питань; – показав уміння формулювати висновки, узагальнювати та аналізувати навчальний матеріал; – показав уміння вільно виконувати завдання; – переконливо та логічно викладав матеріал, проявляв творчий підхід до виконання практичних завдань та підготовки до лабораторних робіт; – належним чином виконував завдання для самостійної роботи; – виконав завдання модульного контролю або допускав при усних відповідях та тестуванні окремі незначні неточності.
«В» 80-89 балів ставиться у разі, якщо студент:	– розкривав згідно з програмою дисципліни зміст питань; – робив узагальнення та висновки з окремих питань; – виконав усі лабораторні роботи; – виконував завдання для самостійної роботи; – виконав завдання модульного контролю, але недостатньо використовував додаткову літературу; – при усних відповідях не досить повно і аргументовано викладав матеріал, а при тестуванні мали місце окремі неточності; – не проявив творчий підхід до виконання індивідуальних завдань та наукових повідомлень.
«С» 70-79 балів ставиться у разі, якщо студент:	– розкривав згідно з програмою дисципліни зміст питань; – формулював висновки з окремих питань практичних занять; – брав участь у виконанні практичних завдань; – виконував завдання для самостійної роботи; – виконав завдання модульного контролю, але допускав окремі неточності при усних відповідях, тестуванні; – не проявляв належної активності на лекційних та лабораторних заняттях, недостатньо використовував додаткову літературу; неохайно виконував завдання лабораторних робіт.
«D» 60-69	– відповідав на окремі питання, які обговорювалися; – формулював висновки з окремих питань;

ставиться у разі, якщо студент:	– виконував завдання для самостійної роботи; – виконав завдання модульного контролю, але допускав окремі неточності; – не проявляв належної активності на лабораторних заняттях та старанності при виконанні завдань для самостійної роботи; – недостатньо використовував додаткову літературу, не належним чином виконав практичні завдання; – виконав не всі завдання для самостійної роботи
«E» 50-59 балів ставиться у разі, якщо студент:	– відповідав на окремі питання, які обговорювалися; – виконував окремі завдання для самостійної роботи; – виконав завдання модульного контролю, але допускав неточності при усних відповідях (будуючи свою відповідь на звичайному повторенні навчального матеріалу без його осмислення), тестуванні; – не проявляв належної активності на практичних заняттях, старанності при виконанні завдань для самостійної роботи; – недостатньо використовував основну та додаткову літературу; – не належним чином виконував індивідуальні завдання.
«Fx» 35-49 балів ставиться у разі, якщо студент:	– поверхнево розкривав зміст питань, які розглядалися; – допускав суттєві помилки при усних та письмових відповідях; – поверхнево ознайомився з рекомендованою літературою; – частково виконав завдання для самостійної роботи; – не проявляв активності на практичних заняттях; – допускав принципові помилки під час виконання завдань; – не виконав завдання модульного контролю.
«F» 1-34 балів ставиться у разі, якщо студент:	– поверхнево розкривав зміст питань, які розглядалися; – допускав суттєві помилки при усних та письмових відповідях; – поверхнево ознайомився з рекомендованою літературою; – не виконав завдання для самостійної роботи; – не виконав практичне завдання; – на підсумковому занятті не вміє відтворити зміст окремих питань, передбачених програмою дисципліни; – не виконав завдання модульного контролю.

Перелік питань для самоконтролю та контролю навчальних досягнень студентів з навчальної дисципліни

Питання для поточного контролю

Змістовний модуль 1.

1. Охарактеризуйте основні етапи розвитку класичної електродинаміки. Які вчені зробили найбільший внесок у цю галузь?
2. Визначте закон Кулона. Як він описує взаємодію точкових зарядів?
3. Що таке напруженість електричного поля і як вона визначається?
4. Як можна за допомогою δ -функції описати густину заряду точкових зарядів у просторі?
5. Наведіть формулювання теореми Остроградського - Гаусса та роз'ясніть її фізичний зміст.
6. Як застосовується теорема Остроградського - Гаусса для обчислення потоку електричного поля?
7. Визначте роботу сил електростатичного поля при переміщенні заряду.
8. Яке значення має електричний потенціал у задачах з електростатики? Поясніть рівняння Пуасона і Лапласа.
9. Назвіть основні методи розв'язування задач електростатики. Як вони використовуються на практиці?
10. Як веде себе провідник в електричному полі? Які фізичні явища при цьому відбуваються?
11. Що таке метод зображень у електростатиці? Як він використовується для розв'язування задач?
12. Як метод функцій Гріна допомагає вирішувати задачі в електростатиці?

13. Як визначити потенціал на великій відстані від системи зарядів?
14. Що таке мультипольні моменти системи зарядів і як вони впливають на потенціал?
15. Визначте енергію взаємодії системи зарядів. Як вона залежить від відстані між зарядами?
16. Як визначити енергію електростатичного поля і власну енергію системи?
17. Як система зарядів взаємодіє з зовнішнім електричним полем?
18. Поясніть зміни в потенціалі та електричному полі внаслідок розташування зарядів у зовнішньому полі.
19. Що таке нестійкість електростатичних систем зарядів? Які умови приводять до нестійкості?
20. Визначте закон збереження заряду. Як він виражається через рівняння неперервності?
21. Визначте закон Біо-Савара-Лапласа. Як він описує магнітне поле, створене стаціонарним струмом?
22. Що таке сила Лоренца і як вона визначається для зарядів у магнітному та електричному полях?
23. Що таке векторний потенціал магнітного поля? Як він пов'язаний з магнітним полем?
24. Як виражається магнітне поле через векторний потенціал?
25. Запишіть і поясніть диференціальні рівняння для магнітного поля.
26. Як визначити циркуляцію напруженості магнітного поля за допомогою рівнянь Максвелла?
27. Як описується магнітне поле у вакуумі на великих відстанях від системи струмів?
28. Визначте магнітний момент для системи струмів.
29. Що таке магнітний момент атома? Як він пов'язаний з орбітальним та спіновим рухом електронів?
30. Напишіть систему рівнянь Максвелла для вільного простору. Що описують ці рівняння?
31. Яке значення має узагальнений закон електромагнітної індукції Фарадея у контексті рівнянь Максвелла?
32. Роз'ясніть рівняння Максвелла. Як вони описують взаємодію електричного та магнітного полів?
33. Що таке струми зміщення та як вони вводяться в рівняння Максвелла?
34. Як рівняння Максвелла узагальнюють експериментальні дані? Наведіть приклади експериментів, які призвели до їх формулювання.
35. Як пов'язані потенціали електричного та магнітного полів з рівняннями Максвелла?
36. Що таке калібрувальна інваріантність і як вона проявляється в рівняннях для потенціалів?
37. Що таке вектор Герца? Як зв'язуються напруженість електричного і магнітного полів з вектором Герца?
38. Як в електромагнітному полі визначаються закони збереження енергії, імпульсу та заряду?
39. Що таке вектор Умова-Пойтінга?
40. Що таке принцип відносності Галілея і як він стосується класичної механіки?
41. Як здійснюються перетворення Галілея між інерційними системами відліку?
42. Як рівняння Максвелла трансформуються під перетворенням Галілея?
43. Що таке гіпотеза ефіру і як вона була спростована спеціальною теорією відносності?
44. Як перетворення Лоренца змінюють координати та час у різних інерційних системах?
45. Які наслідки мають перетворення Лоренца для класичної фізики?
46. Які наслідки має відносність одночасності в спеціальній теорії відносності?
47. Як перетворення Лоренца змінюють закон додавання швидкостей?
48. Що таке просторово-часовий інтервал і як він залишається незмінним під перетвореннями Лоренца?
49. Як концепція простору Мінковського використовується для опису спеціальної теорії відносності?
50. Яка геометрична інтерпретація перетворень Лоренца у чотиривимірному просторі?

Змістовний модуль 2.

1. Який принцип лежить в основі найменшої дії в релятивістській механіці? Як він застосовується до вільної релятивістської частки?
2. Як виглядають функції Лагранжа та Гамільтона для вільної релятивістської частки?
3. Як можна визначити функції Лагранжа та Гамільтона для заряду в електромагнітному полі?
4. Які рівняння руху релятивістського заряду в електромагнітному полі?
5. Поясніть, що таке хвильове рівняння для електромагнітних хвиль і як воно описує плоскі та

сферичні електромагнітні хвилі?

6. Яка форма рівняння для монохроматичних плоских електромагнітних хвиль?
7. Як ефект Доплера проявляється для електромагнітних хвиль і як він впливає на їх частоту та довжину хвилі?
8. Що таке запізнювальні та випереджаючі потенціали в електродинаміці? Як вони описують взаємодію заряджених часток?
9. Як змінюється електромагнітне поле заряду, який рухається прискорено, і яке значення мають потенціали Лієна-Віхерта?
10. Як виглядає поле випромінювання системи зарядів на великих відстанях? Які особливості має дипольне випромінювання та його інтенсивність в дипольному наближенні?
11. Як відбувається випромінювання гармонічного осцилятора і яке значення це має для фізики випромінювання?
12. Як розраховується реакція випромінювання, і що таке класичний радіус електрона?
13. Що таке природна ширина спектральної лінії і як вона залежить від параметрів системи?
14. Як здійснюється розсіювання електромагнітних хвиль вільним зарядом? Який вплив має ефект Комптона?
15. Як розсіювання електромагнітних хвиль здійснюється на зв'язаному заряді?
16. Яким чином магнітні та електричні поля впливають на випромінювання, і які ефекти Зеємана та Штарка можна спостерігати?
17. Що таке мікроскопічні та макроскопічні рівняння електродинаміки, і як вони описують поляризацію середовища та електричну індукцію?
18. Як визначається намагнічування середовища та напруженість магнітного поля?
19. Що таке поляризованість та діелектрична проникність середовища? Як вони впливають на електричні властивості матеріалів?
20. Як магнітна сприйнятливність та магнітна проникність середовища пов'язані з його властивостями?
21. Як виглядає система рівнянь Максвелла в суцільному середовищі і які граничні умови треба враховувати?
22. Які основні особливості електростатики діелектриків і як визначається енергія електромагнітного поля в діелектриках?
23. Як поляризуються неполярні діелектрики з кубічною кристалічною ґраткою під впливом електричного поля?
24. Які особливості поляризації полярних діелектриків у постійному електричному полі?
25. Як відбувається поширення електромагнітних хвиль у діелектриках? Яку формулу Максвелла для цього використовують?
26. Як поширюються електромагнітні хвилі у провідному середовищі і які основні закономірності цього процесу?
27. Що таке скін-ефект у провідниках і як він впливає на властивості матеріалу?
28. Як частотна дисперсія діелектричної проникності проявляється в реальних матеріалах?
29. Яким чином пов'язуються діелектрична та магнітна проникність середовища з енергією, яка поглинається в ньому?
30. Що таке співвідношення Крамерса-Кроніґа і як воно пов'язує реальні та уявні частини діелектричної функції?
31. Як визначається групова швидкість електромагнітних хвиль і що це означає для передачі інформації?
32. Як теорія дисперсії електромагнітних хвиль для системи гармонічних осциляторів пояснює поведінку матеріалів при високих частотах?
33. Яким чином проявляється дисперсія в провідниках і як це впливає на швидкість хвиль у таких середовищах?
34. Як дисперсія електромагнітних хвиль в розрідженій плазмі залежить від її параметрів?
35. Що таке поздовжні коливання електромагнітних хвиль і як вони відрізняються від поперечних?
36. Як відбувається випромінювання Вавілова-Черенкова і що воно може розповісти про частоти та швидкості часток в середовищі?

Питання для підсумкового контролю

1. Історія розвитку класичної електродинаміки.
2. Еволюція уявлень про електромагнітне поле.
3. Закон Кулона. Напруженість електричного поля.
4. Математичне зображення густини точкового заряду за допомогою δ -функції.
5. Теорема Остроградського-Гаусса.
6. Робота сил електростатичного поля. Потенціал. Рівняння Пуассона і Лапласа.
7. Методи розв'язування задач електростатики.
8. Провідники в електричному полі.
9. Метод зображень для розв'язування задач з електростатики.
10. Метод функцій Гріна.
11. Потенціал на великій відстані від системи зарядів. Мультипольні моменти системи.
12. Енергія взаємодії системи зарядів. Енергія електростатичного поля. Власна енергія системи.
13. Система зарядів у зовнішньому електричному полі.
14. Нестійкість електростатичних систем зарядів. Теорема Ірншоу.
15. Закон збереження заряду. Рівняння неперервності.
16. Магнітне поле стаціонарних струмів. Закон Біо-Савара-Лапласа.
17. Сила Лоренца.
18. Векторний потенціал магнітного поля.
19. Диференціальні рівняння магнітного поля. Циркуляція напруженості магнітного поля. Закон повного струму.
20. Магнітне поле у вакуумі на великих відстанях від системи. Магнітний момент.
21. Магнітний момент атома. Гіромагнітне (магнітоmechanічне) відношення.
22. Система рівнянь Максвелла.
23. Узагальнений закон електромагнітної індукції Фарадея. Перша пара рівнянь Максвелла.
24. Струми зміщення. Друга пара рівнянь Максвелла.
25. Система рівнянь Максвелла як результат узагальнених експериментальних даних.
26. Потенціали електромагнітного поля. Калібрувальна або градієнтна інваріантність. Система рівнянь для потенціалів.
27. Вектор Герца. Зв'язок напруженості полів з вектором Герца.
28. Закон збереження енергії, імпульсу та заряду в електромагнітному полі. Вектор Умова Пойтінга.
29. Принцип відносності Галілея. Перетворення Галілея.
30. Рівняння Максвелла та перетворення Галілея, гіпотеза ефіру. Основні положення теорії відносності.
31. Перетворення Лоренца.
32. Наслідки перетворень Лоренца. Відносність одночасності. Співвідношення між довжинами та проміжками часу. Закон додавання швидкостей.
33. Просторово-часовий інтервал.
34. Простір Мінковського. Перетворення Лоренца як поворот у чотиривимірному просторі. Чотиривимірна, або комплексна форма перетворень Лоренца.
35. Принцип найменшої дії в релятивістській механіці. Функція Лагранжа та Гамільтона для вільної релятивістської частки.
36. Заряд в електромагнітному полі. Функції Лагранжа та Гамільтона для заряду в електромагнітному полі.
37. Рівняння руху релятивістського заряду в електромагнітному полі.
38. Хвильове рівняння для електромагнітних хвиль. Плоскі та сферичні електромагнітні хвилі.
39. Монохроматичні плоскі електромагнітні хвилі.
40. Ефект Доплера для електромагнітних хвиль.
41. Запізнювальні та випереджаючі потенціали в електродинаміці.
42. Електромагнітне поле заряду, який рухається прискорено. Потенціали Лієнара-Віхерта.
43. Поле випромінювання системи зарядів на великих відстанях. Дипольне випромінювання та інтенсивність випромінювання в дипольному наближенні.
44. Випромінювання гармонічного осцилятора.
45. Реакція випромінювання та класичний радіус електрона.
46. Природна ширина спектральної лінії.

47. Розсіювання електромагнітних хвиль вільним зарядом. Ефект Комптона.
48. Розсіювання електромагнітних хвиль зв'язаним зарядом.
49. Вплив магнітних і електричних полів на випромінювання (ефекти Зеемана і Штарка).
50. Мікроскопічні та макроскопічні рівняння електродинаміки. Поляризація середовища. Електрична індукція.
51. Намагнічування середовища та напруженість магнітного поля.
52. Поляризованість і діелектрична проникність середовища. Магнітна сприйнятливість і магнітна проникність середовища.
53. Система рівнянь Максвелла у суцільному середовищі. Граничні умови.
54. Електростатика діелектриків. Енергія електромагнітного поля в діелектриках.
55. Електричні властивості діелектриків. Поляризація неполярних діелектриків з кубічною кристалічною ґраткою.
56. Поляризація полярних діелектриків у постійному електричному полі.
57. Поширення електромагнітних хвиль у діелектрику. Формула Максвелла.
58. Поширення електромагнітних хвиль у провідному середовищі.
59. Скін ефект у провідниках.
60. Частотна дисперсія діелектричної проникності.
61. Зв'язок між діелектричною та магнітною проникностями й енергією, яка поглинається в середовищі.
62. Співвідношення Крамерса-Кроніґа.
63. Групова швидкість електромагнітних хвиль.
64. Теорія дисперсії електромагнітних хвиль для системи гармонічних осциляторів.
65. Дисперсія в провідниках.
66. Дисперсія електромагнітних хвиль у розрідженій плазмі.
67. Поздовжні коливання електромагнітних хвиль.
68. Випромінювання Вавілова-Черенкова.

Зарахування результатів неформальної освіти

Відповідно до «Положення про взаємодію формальної та неформальної освіти, визнання результатів навчання (здобутих шляхом неформальної та/або інформальної освіти, в системі формальної освіти) у Чернівецькому національному університеті імені Юрія Федьковича (протокол № 109 від 28 березня 2022 року) (<https://www.chnu.edu.ua/media/3aykf41y/polozhennia-pro-vzaemodiiu-formalnoi-ta-neformalnoi-osvity.pdf>) у процесі вивчення дисципліни здобувачу освіти може бути зараховано до 25% балів, отриманих за результатами неформальної та/ або інформальної освіти з проблем, що відповідають тематиці курсу.

Рекомендована література

Основна література

1. Головацький В.А. Електродинаміка. Навчальний посібник. Чернівці, Рута, 2011.– 282с.
2. Сугаков В.Й. Електродинаміка. Київ, Вища школа, 1974, 271с.
3. Федорченко А.М. Теоретична фізика. Т.1. Класична механіка і електродинаміка. Київ. Вища школа, 1992, 535с.
4. Васецький Ю.М. Електродинаміка. Основні поняття, потенціальні та квазістаціонарні поля. К.: НАУ-друк, 2009. – 160 с.
5. Багацька О.В. Електродинаміка. Теорія поля : навчальний посібник / О.В. Багацька, О.Ю. Бутрим, М.М. Колчигін, О.О. Третьяков, С.М. Шульга – Х.: ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2008. – 132 с

Допоміжна література

1. Захарія Й. А. Методи прикладної електродинаміки. – Львів: Бескид Біт, 2003. – 352 с.
2. В. В. Обуховський. Збірка задач для контрольних робіт з електродинаміки. Київ: Вид-во КНУ імені Тараса Шевченка, 2003.

Інформаційні ресурси

1. <https://moodle.chnu.edu.ua/course/view.php?id=210> - Сайт дистанційної освіти ЧНУ.

Політика щодо академічної доброчесності

Дотримання політики щодо академічної доброчесності учасниками освітнього процесу при вивченні навчальної дисципліни регламентовано такими документами:

- «Етичний кодекс Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича»

<https://www.chnu.edu.ua/media/jxdfs0zb/etychnyi-kodeks-chernivetskoho-natsionalnoho-universytetu.pdf>

- «Положення про виявлення та запобігання академічного плагіату у Чернівецькому національному університету імені Юрія Федьковича»

https://www.chnu.edu.ua/media/f5eleobm/polozhennya-pro-zapobihannia-plahiatu_2024.pdf

Дотримання академічної доброчесності передбачає:

- самостійне виконання навчальних завдань, завдань поточного та підсумкового контролю результатів навчання (для осіб з особливими освітніми потребами ця вимога застосовується з урахуванням їхніх індивідуальних потреб і можливостей);

- посилення на джерела інформації у разі використання не авторських ідей, розробок, тверджень, відомостей і т.п.;

- дотримання норм законодавства про авторське право і суміжні права;

- надання достовірної інформації про результати власної наукової діяльності, використані методики досліджень і джерела інформації.

Порушенням академічної доброчесності вважається:

- академічний плагіат – оприлюднення (частково або повністю) наукових (творчих) результатів, отриманих іншими особами, як результатів власного дослідження (творчості) та/або відтворення опублікованих текстів (оприлюднених творів мистецтва) інших авторів без зазначення авторства;

- фабрикація – вигадкування даних чи фактів, що використовуються в наукових дослідженнях;

- фальсифікація – свідомо зміна чи модифікація вже наявних даних, що стосуються наукових досліджень.

За порушення академічної доброчесності здобувачі освіти можуть бути притягнені до такої академічної відповідальності:

- повторне проходження оцінювання (модульний контроль, іспит, залік тощо);

- повторне проходження відповідного освітнього компонента освітньої програми.