

Міністерство освіти і науки України

Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна

Кафедра теоретичної фізики імені академіка І.М.ліфшиця

“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Декан факультету (директор
навчально-наукового інституту)
фізичний факультет

(вказати назву структурного підрозділу)

ВОВК Руслан Володимирович

(вказати П.І.Б керівника)

“ 30 ” 08 2023р.

Робоча програма навчальної дисципліни

Електродинаміка

(назва навчальної дисципліни)

рівень вищої освіти бакалавр

галузь знань 10 Природничі науки
(шифр і назва)

спеціальність 104 – Фізика та астрономія
(шифр і назва)

освітня програма “Фізика”
(шифр і назва)

спеціалізація _____
(шифр і назва)

вид дисципліни обов’язкова
(обов’язкова / за вибором)

факультет фізичний

2023 / 2024 навчальний рік

Програму рекомендовано до затвердження Вченою радою фізичного факультету

“ 30 ” 08 2023 року, протокол № 6

РОЗРОБНИКИ ПРОГРАМИ:

Любимов Олег Іванович, канд. фіз.-мат. наук, доц., Єзерська Олена Володимирівна,
канд. фіз.-мат. наук, доц.

Програму схвалено на засіданні кафедри

теоретичної фізики імені академіка М. Ліфшиця

Програму схвалено на засіданні кафедри теоретичної фізики імені академіка І.М.Ліфшиця

Протокол від “ 28 ” 08 2023 року № 9

Завідувач кафедри теоретичної фізики імені академіка І.М.Ліфшиця

(підпис)

Рапба Г.І.
(прізвище та ініціали)

Програму погоджено з гарантом освітньої програми

фізика (спеціальність 104 – фізика та астрономія)

назва освітньої програми

Гарант освітньої (професійної/наукової) програми

(керівник проектної групи) Лазоренко О.В.

(підпис)

Лазоренко О.В.
(прізвище та ініціали)

Програму погоджено методичною комісією

фізичного факультету

назва факультету, для здобувачів вищої освіти якого викладається навчальна дисципліна

Протокол від “ 29 ” 08 2023 року № 7

Голова методичної комісії фізичного факультету

(підпис)

Макаровський М.О.
(прізвище та ініціали)

ВСТУП

Програма навчальної дисципліни “**Електродинаміка**” складена відповідно до освітньо-професійної (освітньо-наукової) програми підготовки першого рівню вищої освіти – бакалавр

спеціальності (напряму) 104 – фізика та астрономія

спеціалізації

1. Опис навчальної дисципліни

1.1 Мета та завдання навчальної дисципліни

Метою викладання навчальної дисципліни «Електродинаміка» є сформувати польові уявлення студентів про властивості матерії, викласти з єдиної точки зору теорію електромагнітного поля у вакуумі і в конденсованих середовищах.

1.2. Основні завдання вивчення дисципліни «Електродинаміка»

навчити студентів

- використовувати уявлення спеціальної теорії відносності,
- вирішувати рівняння руху заряду в полі для релятивістського та нерелятивістського заряду,
- вирішувати рівняння Максвелла для електростатичного, магнітостатичного та для змінного електромагнітного поля в вакуумі та в суцільному середовищі,
- користуючись навчальною та довідковою літературою, обирати адекватні методи вирішення задач класичної електродинаміки

Компетентності, що забезпечуються дисципліною:

- Здатність розв’язувати складні спеціалізовані задачі та практичні проблеми з фізики та/або астрономії у професійній діяльності або у процесі подальшого навчання, що передбачає застосування певних теорій і методів фізики та/або астрономії і характеризується складністю та невизначеністю умов (ІК).

- Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу (ЗК-1).
- Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях (ЗК-2).
- Навички використання інформаційних і комунікаційних технологій (ЗК-3).
- Здатність бути критичним і самокритичним (ЗК-4).
- Здатність приймати обґрунтовані рішення (ЗК-5).
- Навички міжособистісної взаємодії (ЗК-6).
- Здатність оцінювати та забезпечувати якість виконуваних робіт (ЗК-8).
- Визначеність і наполегливість щодо поставлених завдань і взятих обов’язків (ЗК-9).
- Здатність спілкуватися державною мовою як усно, так і письмово (ЗК-12).
- Здатність спілкуватися іноземною мовою (ЗК-13).
- Знання і розуміння теоретичного та експериментального базису сучасної фізики та астрономії (ФК-1).
- Здатність працювати із науковим обладнанням та вимірювальними приладами, обробляти та аналізувати результати досліджень (ФК-4).
- Здатність виконувати обчислювальні експерименти, використовувати чисельні методи для розв’язування фізичних та астрономічних задач і моделювання фізичних систем (ФК-5).
- Здатність моделювати фізичні системи та астрономічні явища і процеси (ФК-6).
- Здатність використовувати базові знання з фізики та астрономії для розуміння будови та поведінки природних і штучних об’єктів, законів існування та еволюції Всесвіту (ФК-7).
- Здатність працювати з джерелами навчальної та наукової інформації (ФК-9).
- Здатність самостійно навчатися і опановувати нові знання з фізики, астрономії та

суміжних галузей (ФК-10).

- Усвідомлення професійних етичних аспектів фізичних та астрономічних досліджень (ФК-12).
- Орієнтація на найвищі наукові стандарти - обізнаність щодо фундаментальних відкриттів та теорій, які суттєво вплинули на розвиток фізики, астрономії та інших природничих наук. (ФК-13).
- Здатність здобувати додаткові компетентності через вибіркові складові освітньої програми, самоосвіту, неформальну та інформальну освіту (ФК-14).

1.3. Кількість кредитів 6

1.4. Загальна кількість годин 180

1.5. Характеристика навчальної дисципліни	
денна форма навчання	
Нормативна	
Рік підготовки	
3-й	4-й
Семестри	
6-й	7-й
Лекції	
32 год.	32 год.
Практичні, семінарські	
16 год.	16 год.
Лабораторні	
немає	
Самостійна робота	
42 год.	42 год.
В тому числі 5 год. на підготовку до контрольної роботи	В тому числі 10 год. на підготовку до 2-х контрольних робіт та 10 год. на виконання індивідуального розрахунково-графічного завдання
Вид контролю:	
екзамен	

1.6. Заплановані результати навчання

Згідно з вимогами освітньо-професійної програми студенти повинні досягти таких результатів навчання:

- опанувати принципи та методи мікроскопічної та макроскопічної електродинаміки, електродинамічні методи, аналізу, тлумачення, пояснення і класифікації суті та механізмів різноманітних фізичних явищ і процесів, які відбуваються у вакуумі та в середовищах з метою розв'язування типових фізичних задач;

- бути здатними застосовувати базові знання розділу теоретичної фізики "Електродинаміка" для пояснення отриманих даних і передбачення нових наукових результатів;

- вміти впроваджувати здобуті фундаментальні знання з цього розділу при розробці нових наукових методик, точно та наближено розв'язувати рівняння Максвелла, розраховувати електромагнітні поля в вакуумі та в суцільних середовищах.

Програмні результати навчання, що забезпечуються дисципліною:

- 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 (ПРН-1).
- Знати і розуміти експериментальні основи фізики: аналізувати, описувати, тлумачити та пояснювати основні експериментальні підтвердження існуючих фізичних теорій (ПРН-3).
- Знати основні актуальні проблеми сучасної фізики та астрономії (ПРН-5).
- Оцінювати вплив новітніх відкриттів на розвиток сучасної фізики та астрономії (ПРН-6).
- Розуміти, аналізувати і пояснювати нові наукові результати, одержані у ході проведення фізичних та астрономічних досліджень відповідно до спеціалізації (ПРН-7).
- Мати базові навички самостійного навчання: вміти відшукувати потрібну інформацію в друкованих та електронних джерелах, аналізувати, систематизувати, розуміти, тлумачити та використовувати її для вирішення наукових і прикладних завдань (ПРН-8).
- Вміти упорядковувати, тлумачити та узагальнювати одержані наукові та практичні результати, робити висновки (ПРН-11).
- Розуміти зв'язок фізики та/або астрономії з іншими природничими та інженерними науками, бути обізнаним з окремими (відповідно до спеціалізації) основними поняттями прикладної фізики, матеріалознавства, інженерії, хімії, біології тощо, а також з окремими об'єктами (технологічними процесами) та природними явищами, що є предметом дослідження інших наук і, водночас, можуть бути предметами фізичних або астрономічних досліджень (ПРН-13).
- Знати і розуміти роль і місце фізики, астрономії та інших природничих наук у загальній системі знань про природу та суспільство, у розвитку техніки й технологій та у формуванні сучасного наукового світогляду (ПРН-17).
- Розуміти значення фізичних досліджень для забезпечення сталого розвитку суспільства (ПРН- 22).
- Розуміти історію та закономірності розвитку фізики та астрономії (ПРН-23).
- Розуміти місце фізики та астрономії у загальній системі знань про природу і суспільство та у розвитку суспільства, техніки і технологій (ПРН-24).
- Мати навички самостійного прийняття рішень стосовно своїх освітньої траєкторії та професійного розвитку (ПРН-25).

2. тематичний план навчальної дисципліни

6-й семестр

Розділ 1. СПЕЦІАЛЬНА ТЕОРІЯ ВІДНОСНОСТІ (СТВ) ТА РЕЛЯТИВІСТСЬКА МЕХАНІКА

Тема 1. Простір та час у класичній механіці. Принцип відносності Галілея та перетворення Галілея.

Тема 2. Принцип відносності Ейнштейна. Експерименти, які лежать в основі теорії відносності.

Тема 3. Перетворення Лоренца. Наслідки з перетворень Лоренца:

- обмеженість швидкості матеріальних тіл;
- скорочення довжини рухомого тіла у напрямку руху; перетворення об'єму;
- відносність одночасності, власний час;

- закон додавання швидкостей.

Тема 4. Інтервал між подіями. Інваріантність інтервалу відносно перетворень Лоренца. Класифікація інтервалів. Просторовоподібні та часоподібні інтервали. Геометричне значення перетворень Лоренца.

Тема 5. Чотиривимірний простір-час. Чотиривимірні вектори і тензори. Тензорна алгебра та елементи тензорного аналізу в тривимірному та в чотиривимірному просторі.

Тема 6. 4-швидкість та 4-прискорення. Рівноприскорений рух релятивістської частинки. 4-імпульс.

Тема 7. Функція дії. Функція Лагранжа. Релятивістські імпульс та енергія. Енергія спокою. Функція Гамільтона. Перетворення енергії та імпульсу. 4-сила.

Тема 8. Зіткнення частинок в релятивістській механіці: розпад і утворення частинки, розсіяння двох частинок.

Тема 9. 4-тензор моменту імпульсу. Радіус-вектор центру інерції системи частинок. Закони збереження в релятивістській механіці та їх зв'язок з властивостями симетрії 4-простору.

Розділ 2. ЗАРЯД В ЕЛЕКТРОМАГНІТНОМУ ПОЛІ. РІВНЯННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ПОЛЯ. ПОСТІЙНЕ ЕЛЕКТРОМАГНІТНЕ ПОЛЕ В ВАКУУМІ

Тема 10. Елементарні частинки в теорії відносності. Електричний заряд і електромагнітне поле. Взаємодія між зарядженими частинками.

Тема 11. 4-потенціал поля. Функція Лагранжа для заряду в зовнішньому електромагнітному полі. Енергія та імпульс заряду в полі. Функція Гамільтона заряду в полі.

Тема 12. Рівняння руху заряду в електромагнітному полі. Зв'язок напруженостей електричного і магнітного полів з потенціалами поля Рівняння зміни кінетичної енергії.

Тема 13. Калібрувальна (градієнтна) інваріантність потенціалів електромагнітного поля.

Тема 14. 4-вимірна форма рівняння руху заряду в полі. Тензор електромагнітного поля. Перетворення Лоренца для електромагнітного поля. Інваріанти поля.

Тема 15. Постійне електромагнітне поле. Рух релятивістського заряду в постійному однорідному електричному полі. Рух релятивістського заряду в постійному однорідному магнітному полі. Рух релятивістського заряду в паралельних постійних однорідних електричному та магнітному полях. Рух нерелятивістського заряду в перехрещених полях. Електричний дрейф.

Тема 16. Перша пара рівнянь Максвелла: диференційна, інтегральна та 4-форма. Функція дії для системи, що складається з частинок та електромагнітного поля. 4-вимірна густина струму. Друга пара рівнянь Максвелла: 4-вимірна, диференційна та інтегральна форма. Рівняння неперервності. Повна система рівнянь електромагнітного поля.

Тема 17. Густина енергії і вектор Пойнтінга. Рівняння для електромагнітних потенціалів. Калібровка Лоренца. Граничні умови для векторів електромагнітного поля. Тензор енергії-імпульсу релятивістських частинок. Тензор енергії-імпульсу електромагнітного поля. Закон збереження імпульсу в електродинаміці. Максвеллівський тензор напружень.

Тема 18. Постійне електричне поле в вакуумі. Рівняння електростатики. Поле нерухомого точкового заряду. Поле заряду, що рухається рівномірно. Інтегрування рівняння Пуассона. Інтеграл Пуассона.

Тема 19. Електростатичне поле на далеких відстанях від системи зарядів. Дипольний і квадрупольний моменти. Мультипольні моменти. Енергія і сили взаємодії в електростатичному полі.

Тема 20. Система зарядів у зовнішньому полі. Енергія взаємодії системи зарядів із зовнішнім полем, сила та момент сили, що діють на систему зарядів, в дипольному наближенні. Енергія взаємодії двох диполів.

Тема 21. Постійне магнітне поле в вакуумі. Рівняння магнітостатики. Векторний потенціал і напруженість магнітного поля стаціонарних струмів. Закон Біо-Савара. Формула Ампера.

Тема 22. Постійне магнітне поле на великих відстанях від системи рухомих зарядів. Магнітний дипольний момент. Магнітний момент плоского контуру з постійним струмом. Магнітний момент для системи частинок. Енергія стаціонарних струмів. Енергія та сили в зовнішньому постійному магнітному полі в дипольному наближенні. Теорема Лармора.

7-й семестр

Розділ 3. ЕЛЕКТРОМАГНІТНІ ХВИЛІ. ПОЛЯ РУХОМИХ ЗАРЯДІВ. ВИПРОМІНЮВАННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ХВИЛЬ

Тема 23. Рівняння електромагнітного поля у відсутності зарядів. Хвильове рівняння.

Тема 24. Плоскі електромагнітні хвилі. Вектор Пойнтінга плоскої хвилі. Сферичні хвилі. Монохроматичні хвилі. Плоскі монохроматичні хвилі. Поляризація плоскої монохроматичної хвилі.

Тема 25. Ефект Доплера. Аберация світла.

Тема 26. Розклад електромагнітного поля на плоскі хвилі, монохроматичні хвилі та плоскі монохроматичні хвилі. Розклад поля нерухомого точкового заряду на плоскі хвилі. Тема 27. Власні коливання електромагнітного поля. Гамільтонова форма рівнянь електромагнітного поля. Електромагнітне поле як сукупність гармонічних осциляторів.

Тема 28. Поле системи рухомих зарядів. Запізнювальні потенціали. Поле довільно рухомого заряду. Потенціали Лієнара–Віхерта. Напруженість поля.

Тема 29. Напруженість поля на великих відстанях. Поле випромінювання. Електричне дипольне випромінювання нерелятивістської системи зарядів. Інтенсивність дипольного випромінювання. Електричне квадрупольне та магнітне дипольне випромінювання. Поле випромінювання на близьких відстанях.

Тема 30. Випромінювання лінійної антени. Діаграма направленості.

Тема 31. Розсіяння електромагнітних хвиль вільними зарядами. Формула Томсона.

Тема 32. Гальмування випромінюванням. Сила променевого тертя. Межі застосування класичної електродинаміки

Розділ 4. РІВНЯННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ПОЛЯ В СУЦІЛЬНОМУ СЕРЕДОВИЩІ. ПОСТІЙНЕ ЕЛЕКТРИЧНЕ ПОЛЕ В СЕРЕДОВИЩІ. ПОСТІЙНЕ МАГНІТНЕ ПОЛЕ В СЕРЕДОВИЩІ

Тема 33. Мікроскопічний та макроскопічний підходи до розгляду електромагнітних явищ в середовищі. Усереднення рівнянь Максвелла. Сторонні та наведені заряди і струми.

Тема 34. Електростатичне поле при наявності провідників. Рівняння та граничні умови. Методи вирішування електростатичних задач. Поле точкового заряду при наявності провідної кулі. Сили, що діють на провідник.

Тема 35. Електростатичне поле в діелектрику. Вектор поляризації діелектрика. Вектор діелектричної індукції. Діелектрична проникність та діелектрична сприйнятливність. Граничні умови на границі розділу двох середовищ.

Тема 36. Постійний електричний струм. Тензор провідності. Ефект Холла.

Тема 37. Постійне магнітне поле в непровідному середовищі. Вектор намагніченості. Магнітна сприйнятливність. Магнітна проникність. Класифікація магнетиків.

Тема 38. Граничні умови на границі розділу двох середовищ. Магнітне поле постійних струмів.

Тема 39. Сили, що діють на діелектрики та магнетики.

Тема 40. Феромагнетизм.

Тема 41. Магнітні властивості надпровідників.

Розділ 5. КВАЗІСТАЦІОНАРНЕ ЕЛЕКТРОМАГНІТНЕ ПОЛЕ. ПОШИРЕННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ХВИЛЬ У СУЦІЛЬНОМУ СЕРЕДОВИЩІ

Тема 42. Квазістаціонарне наближення для магнітного поля.

Тема 43. Струми Фуко.

Тема 44. Скін-ефект. Розподіл поля та струму в провіднику

Тема 45. Комплексний опір. Ємність в колі квазістаціонарного струму.

Тема 46. Частотна дисперсія діелектричної проникності. Комплексна діелектрична проникність. Співвідношення Крамерса-Кроніга.

Тема 47. Поширення електромагнітних сигналів у середовищі з дисперсією. Групова швидкість. Діелектричні властивості плазми. Нелінійні середовища.

Тема 48. Геометрична оптика. Заломлення і відбиття електромагнітних хвиль. Рівняння ейконалу.

Тема 49. Поширення електромагнітних хвиль в обмежених середовищах. Хвилеводи і резонатори.

Тема 50. Рівняння електродинаміки рухомого середовища. Матеріальні рівняння для рухомих середовищ. Закони перетворення векторів поля та матеріальних рівнянь. Рівняння магнітної гідродинаміки. Магнітогідродинамічні хвилі.

3. Структура навчальної дисципліни

Назви розділів і тем	Кількість годин					
	Денна форма					
	Усього	у тому числі				
л		п	лаб	інд	ср	
1	2	3	4	5	6	7
6 семестр						
Розділ 1. СПЕЦІАЛЬНА ТЕОРІЯ ВІДНОСНОСТІ (СТВ) ТА РЕЛЯТИВІСТСЬКА МЕХАНІКА						
Тема 1	3	1				2
Тема 2	4	2				2
Тема 3	6	2	1		1	2
Тема 4	5	1	1		1	2
Тема 5	7	2	2		1	2
Тема 6	6	2	1		1	2
Тема 7	5	1	1		1	2
Тема 8	5	1	2			2
Тема 9	4	2				2
Разом за розділом 1	45	14	8		5	18
Розділ 2. ЗАРЯД В ЕЛЕКТРОМАГНІТНОМУ ПОЛІ. РІВНЯННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ПОЛЯ. ПОСТІЙНЕ ЕЛЕКТРОМАГНІТНЕ ПОЛЕ В ВАКУУМІ						
Тема 10	2	1				1
Тема 11	5	2	1			2
Тема 12	2,5	1				1,5
Тема 13	2,5	1				1,5
Тема 14	3,5	1	1			1,5
Тема 15	4,5	1	2			1,5
Тема 16	2,5	1				1,5
Тема 17	3,5	2				1,5
Тема 18	3,5	2				1,5
Тема 19	4,5	2	1			1,5
Тема 20	2,5	1				1,5
Тема 21	3	1	1			1
Тема 22	5,5	2	2			1,5
Разом за розділом 2	45	18	8			19
Разом за 6-й семестр	90	32	16		5	37
7 семестр						
Розділ 3. ЕЛЕКТРОМАГНІТНІ ХВИЛІ. ПОЛЯ РУХОМИХ ЗАРЯДІВ. ВИПРОМІНЮВАННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ХВИЛЬ						
Тема 23	3,5	1	1		1	0,5
Тема 24	2,5	1	1			0,5
Тема 25	3	1	1			1
Тема 26	4	1	1		1	1
Тема 27	2	1				1

Тема 28	2	1				1
Тема 29	2	1				1
Тема 30	3	1	1			1
Тема 31	2	1				1
Тема 32	3	1	1			1
Разом за розділом 3	27	10	6		2	9
Розділ 4. РІВНЯННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ПОЛЯ В СУЦІЛЬНОМУ СЕРЕДОВИЩІ. ПОСТІЙНЕ ЕЛЕКТРИЧНЕ ПОЛЕ В СЕРЕДОВИЩІ. ПОСТІЙНЕ МАГНІТНЕ ПОЛЕ В СЕРЕДОВИЩІ						
Тема 33	2	1				1
Тема 34	7	2	2		2	1
Тема 35	4	1	2			1
Тема 36	6	1	2		2	1
Тема 37	4	1	2			1
Тема 38	4	1	2			1
Тема 39	2	1				1
Тема 40	2	1				1
Тема 41	2	1				1
Разом за розділом 4	33	10	10		4	9
Розділ 5. КВАЗІСТАЦІОНАРНЕ ЕЛЕКТРОМАГНІТНЕ ПОЛЕ. ПОШИРЕННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ХВИЛЬ У СУЦІЛЬНОМУ СЕРЕДОВИЩІ						
Тема 42	4	1			2	1
Тема 43	4	1			2	1
Тема 44	4	1			2	1
Тема 45	3	2				1
Тема 46	3	2				1
Тема 47	3	1			1	1
Тема 48	3	1			1	1
Тема 49	3	1			1	1
Тема 50	3	2				1
Разом за розділом 5	30	12			9	9
Разом за 7-й семестр	90	32	16		15	27
Екзамен						
Усього годин	180	64	32		20	64

4. Теми практичних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	2	3
1.	Векторна і тензорна алгебра. Перетворення векторів і тензорів. Векторний аналіз.	3
2.	Перетворення Лоренца. Інтервали між подіями.	2
3.	4-вектори і тензори.	2
4.	Релятивістська механіка. Енергія та імпульс.	2

1	2	2
5.	Релятивістські зіткнення. Пружні та непружні зіткнення.	2
6.	Рух заряду в електромагнітному полі.	3
7.	Перетворення Лоренца для електромагнітного поля.	3
8.	Постійне електричне поле в вакуумі.	3
9.	Постійне магнітне поле в вакуумі.	3
10.	Електромагнітні хвилі.	3
11.	Випромінювання електромагнітних хвиль.	2
12.	Електростатика провідників та діелектриків.	2
	Усього за 6-7 семестри	32

5. Самостійна робота

Пояснення щодо того, що повинен зробити студент під час самостійної роботи.

1. По всім нижче вказаним темам опрацювати конспекти лекцій, прочитати відповідні параграфи в підручниках [1–3].
2. Виконати самостійно домашні завдання 1-12.
3. Самостійно розв'язати протягом 5 семестру та протягом 6 семестру по одному запропонованому індивідуальному розрахунково-графічному завданню та подати їх у встановлений термін для перевірки.

№ з/п	Види, зміст самостійної роботи	Кількість годин
1	2	3
1	Простір та час у класичній механіці. Принцип відносності Галілея та перетворення Галілея.	2
2	Принцип відносності Ейнштейна. Експерименти, які лежать в основі теорії відносності.	2
3	Перетворення Лоренца. Два способи виведення перетворень Лоренца. Обмеженість швидкості тіл з ненульовою масою. Відносність одночасності. Виведення з перетворень Лоренца формул для скорочення довжини рухомого тіла у напрямку руху, для перетворення об'єму, поняття про власний час, закону додавання швидкостей. В тому числі <u>1 час</u> підготовки до контрольної роботи.	3
4	Поняття інтервалу між подіями. Доведення інваріантності інтервалу відносно перетворень Лоренца. Класифікація інтервалів. Графічне зображення інтервалів. Геометричне значення перетворень Лоренца. В тому числі <u>1 час</u> підготовки до контрольної роботи.	3
5	Чотиривимірний простір-час. Визначення тензору довільного рангу. Чотиривимірні вектори і тензори. Тензорна алгебра та елементи тензорного аналізу в тривимірному та в чотиривимірному просторі. Згортання тензорів, чотиривимірна дивергенція. В тому числі <u>1 час</u> підготовки до контрольної роботи.	3
6	Кінематика в 4-просторі: 4-швидкість та 4-прискорення. Доведення інваріантності квадратів 4-швидкості та 4-прискорення. Рівняння руху та траєкторії для рівноприскореного руху релятивістської частинки. 4-імпульс. В тому числі <u>1 час</u> підготовки до контрольної роботи.	3
7	Функція дії. Побудова функції Лагранжа релятивістської частинки. Релятивістські імпульс та енергія. Енергія спокою. Функція Гамільтона. Виведення формул перетворення енергії та імпульсу, як компонент 4-вектора енергії-імпульсу. 4-сила. В тому числі <u>1 час</u> підготовки до контрольної роботи.	3

8	Пружні та непружні зіткнення частинок в релятивістській механіці. Задачі про розпад і утворення частинки, розсіяння двох частинок.	2
9	4-тензор моменту імпульсу. Фізичне значення його компонент. Радіус-вектор центру інерції системи частинок. Поняття однорідності та ізотропії простору. Закони збереження в релятивістській механіці та їх зв'язок з властивостями симетрії 4-простору.	2
10	Елементарні частинки в теорії відносності. Точкові заряди. Електричний заряд і електромагнітне поле. Взаємодія між зарядженими частинками.	1
11	Скалярний та векторний потенціали. 4-потенціал поля. Побудова функції Лагранжа для заряду в зовнішньому електромагнітному полі. Знаходження енергії та імпульсу заряду в полі та функції Гамільтона заряду в полі.	2
12	Виведення рівняння руху заряду в електромагнітному полі за допомогою рівнянь Лагранжа. Формули, які пов'язують напруженості електричного і магнітного полів з потенціалами поля. Рівняння зміни кінетичної енергії, як наслідок з рівняння руху. В тому числі <u>0,5 часа</u> підготовки до контрольної роботи.	1,5
13	Доведення калібрувальної (градієнтної) інваріантності потенціалів електромагнітного поля. В тому числі <u>0,5 часа</u> підготовки до контрольної роботи.	1,5
14	Знаходження рівняння руху заряду в полі в 4-вимірній формі. Побудова тензору електромагнітного поля. Властивості тензору електромагнітного поля. Виведення перетворень Лоренца для електромагнітного поля за допомогою закону перетворення 4-тензору 2-го рангу. Інваріанти поля в тривимірному та чотиривимірному вигляді. В тому числі <u>0,5 часа</u> підготовки до контрольної роботи.	1,5
15	Поняття про постійне електромагнітне поле. Рішення рівняння руху релятивістського заряду в постійному однорідному електричному полі, в постійному однорідному магнітному полі, в паралельних постійних однорідних електричному та магнітному полях. Рух нерелятивістського заряду в перехрещених полях. В тому числі <u>0,5 часа</u> підготовки до контрольної роботи.	1,5
16	Перша пара рівнянь Максвелла у різних формах: диференційній, інтегральній та 4-формі. Побудова функції дії для системи, що складається з частинок та електромагнітного поля. 4-вимірна густина струму. Виведення другої пари рівнянь Максвелла з принципу найменшої дії. Друга пара рівнянь Максвелла: 4-вимірна, диференційна та інтегральна форма. Рівняння неперервності як наслідок рівнянь Максвелла. Фізичне значення рівняння неперервності. Повна система рівнянь електромагнітного поля. В тому числі <u>0,5 часа</u> підготовки до контрольної роботи.	1,5
17	Густина енергії і вектор Пойнтінга. Рівняння для електромагнітних потенціалів. Калібровка Лоренца. Граничні умови для векторів електромагнітного поля. Тензор енергії-імпульсу релятивістських частинок. Тензор енергії-імпульсу електромагнітного поля. Закон збереження імпульсу в електродинаміці. Максвеллівський тензор напружень. В тому числі <u>0,5 часа</u> підготовки до контрольної роботи.	1,5
18	Постійне електричне поле в вакуумі, створене нерухомими зарядами. Рівняння електростатики. Поле нерухомого точкового заряду. Знаходження поля заряду, що рухається рівномірно, за допомогою	1,5

	перетворень Лоренца. Інтегрування рівняння Пуассона. Інтеграл Пуассона. В тому числі <u>0,5 часа</u> підготовки до контрольної роботи.	
19	Розклад електростатичного поля на далеких відстанях від системи зарядів в ряд Тейлора. Дипольний і квадрупольний моменти. Мультипольні моменти. Енергія і сили взаємодії в електростатичному полі. В тому числі <u>0,5 часа</u> підготовки до контрольної роботи.	1,5
20	Енергія взаємодії системи зарядів із зовнішнім полем, сила та момент сили, що діють на систему зарядів, в дипольному наближенні. Енергія взаємодії двох електричних диполів.	1,5
21	Постійне магнітне поле в вакуумі як поле постійних струмів. Рівняння магнітостатики. Векторний потенціал і напруженість магнітного поля стаціонарних струмів. Закон Біо-Савара. Формула Ампера.	1
22	Розклад постійного магнітного поля на далеких відстанях від системи рухомих зарядів на мультиполі. Магнітний дипольний момент. Розрахунки магнітного моменту плоского контуру з постійним струмом, магнітного моменту для системи частинок. Енергія стаціонарних струмів. Енергія та сили в зовнішньому постійному магнітному полі в дипольному наближенні. Теорема Лармора. В тому числі <u>0,5 часа</u> підготовки до контрольної роботи.	1,5
23	Хвильове рівняння для потенціалів та для напруженостей у відсутності зарядів та струмів. В тому числі <u>1 год.</u> на виконання індивідуального розрахунково-графічного завдання.	1,5
24	Види електромагнітних хвиль. Плоскі електромагнітні хвилі. Вектор Пойнтінга плоскої хвилі. Сферичні хвилі. Монохроматичні хвилі. Плоскі монохроматичні хвилі. Поляризація плоскої монохроматичної хвилі.	0,5
25	Ефект Допплера. Особливості релятивістського ефекту Допплера. Аберация світла.	1
26	Розклад електромагнітного поля на плоскі хвилі, монохроматичні хвилі та плоскі монохроматичні хвилі. Розклад поля нерухомого точкового заряду на плоскі хвилі. В тому числі <u>1 год.</u> на виконання індивідуального розрахунково-графічного завдання.	2
27	Власні коливання електромагнітного поля. Рівняння електромагнітного поля у формі рівнянь Гамільтона. Розклад електромагнітного поля на сукупність гармонічних осциляторів.	1
28	Запізнювальні потенціали для поля системи рухомих зарядів. Поле довільно рухомого заряду. Потенціали Лієнара-Віхерта. Напруженість поля довільно рухомого заяду.	1
29	Напруженість поля довільно рухомих зарядів на далеких відстанях. Випромінювання електромагнітних хвиль. Електричне дипольне випромінювання системи зарядів, що рухаються повільно. Формула для інтенсивності дипольного випромінювання. Електричне квадрупольне та магнітне дипольне випромінювання. Поле випромінювання на близьких відстанях.	1
30	Розрахунок інтенсивності випромінювання лінійної антени. Діаграма направленості.	1
31	Розсіяння електромагнітних хвиль вільними зарядами. Формула Томсона.	1
32	Гальмування випромінюванням. Сила променевого тертя. Межі застосування класичної електродинаміки	1

33	Усереднення рівнянь Максвелла для суцільного середовища. Сторонні та наведені заряди і струми. Поняття фізично нескінченно малого об'єму.	1
34	Рівняння та граничні умови електростатичного поля при наявності провідників. Методи вирішування електростатичних задач, зокрема застосування методу електростатичних зображень для знаходження поля точкового заряду при наявності провідної кулі. В тому числі <u>2 год.</u> на виконання індивідуального розрахунково-графічного завдання.	3
35	Електростатичне поле в діелектрику. Поняття про вектор поляризації та вектор діелектричної індукції. Діелектрична проникність та діелектрична сприйнятливість. Граничні умови на границі розділу двох середовищ.	1
36	Постійний електричний струм. Тензор провідності. Ефект Холла. В тому числі <u>2 год.</u> на виконання індивідуального розрахунково-графічного завдання.	3
37	Постійне магнітне поле в непровідному середовищі. Вектор намагніченості. Магнітна сприйнятливість. Магнітна проникність. Класифікація магнетиків.	1
38	Виведення граничних умов на границі розділу двох середовищ. Магнітне поле постійних струмів.	1
39	Сили, що діють на діелектрики та магнетики.	1
40	Властивості феромагнетиків.	1
41	Магнітні властивості надпровідників. Ефект Мейснера.	1
42	Квазістаціонарне наближення для магнітного поля. В тому числі <u>2 год.</u> на виконання індивідуального розрахунково-графічного завдання.	3
43	Струми Фуко в масивних провідниках. В тому числі <u>2 год.</u> на виконання індивідуального розрахунково-графічного завдання.	3
44	Скін-ефект. Розподіл поля та струму в провіднику. Довжина затухання. В тому числі <u>2 год.</u> на виконання індивідуального розрахунково-графічного завдання.	3
45	Комплексний опір. Ємність в колі квазістаціонарного струму.	1
46	Частотна дисперсія діелектричної проникності. Комплексна діелектрична проникність. Співвідношення Крамерса-Кроніга.	1
47	Поширення електромагнітних сигналів у середовищі з дисперсією. Групова швидкість. Діелектричні властивості плазми. Нелінійні середовища. В тому числі <u>1 год.</u> на виконання індивідуального розрахунково-графічного завдання.	2
48	Перехід від електродинаміки до геометричної оптики. Закони заломлення і відбиття електромагнітних хвиль. Рівняння ейконалу. В тому числі <u>1 год.</u> на виконання індивідуального розрахунково-графічного завдання.	2
49	Електромагнітні хвилі в обмежених середовищах. Приклади: хвилеводи і резонатори. В тому числі <u>1 год.</u> на виконання індивідуального розрахунково-графічного завдання.	2
50	Електродинамічні рівняння для рухомого середовища. Матеріальні рівняння для рухомих середовищ. Закони перетворення векторів поля та матеріальних рівнянь. Рівняння магнітної гідродинаміки. Магнітогідродинамічні хвилі.	1
	Усього за 6-7 семестри	84

6. Індивідуальні завдання

Індивідуальне розрахункове завдання в 6-му семестрі.

7. Методи контролю

Рішення задач на практичних заняттях, опитування, контрольні роботи за основними розділами, перевірка домашніх завдань, здача у письмовому вигляді та усний захист індивідуального розрахунково-графічного завдання в 6-му семестрі, письмовий екзамен.

8. Схема нарахування балів

Екзамен (7-семестр)

Поточний контроль, самостійна робота, індивідуальні завдання								Екзаме- н	Су- ма
Роз- діл 1	Роз- діл 2	Роз- діл 3	Роз- діл 4	Роз- діл 5	Контрольні роботи, передба- чені навчальним планом	Індиві- дуальне завдання	Разом		
T1-T9	T10- T22	T23- T32	T33- T41	T42- T50	(1 контрольна роботи в 6-у семестрі та 2 контрольні роботи у 7-у семестрі)	Розрахун- ково- графічне завдання у 7-у семестрі			
5	5	5	5	5	5+5+5=15	20	60	40	100

Для зарахування розділів 1-2 треба написати контрольну роботу та виконати домашні завдання і набрати у підсумку не менше 10 балів. Для зарахування розділу 3 треба виконати домашні завдання та набрати у підсумку не менше 2,5 балів, для зарахування розділів 4-5 треба написати контрольну роботу, виконати домашні завдання й набрати у підсумку не менше 5 балів, для зарахування розділу 5 треба виконати домашні завдання, виконати та захистити індивідуальне розрахункове завдання та набрати в підсумку не менше 12,5 балів. За індивідуальне розрахункове завдання бали нараховуються після його усного захисту (до 10 балів за оформлення та до 10 балів за усний захист).

Для допуску до підсумкового семестрового контролю студент повинен здати 5 розділів та набрати у підсумку не менше 30 балів.

Екзаменаційний білет складається з двох теоретичних питань та з двох задач. Максимальний бал за кожний з пунктів білету – 10. Для успішної здачі письмового екзамену треба набрати у підсумку не менше 20 балів а загалом не менше 50 балів за всі види контролю.

Критерії оцінювання письмової екзаменаційної роботи

У відповіді на теоретичне питання студент повинен продемонструвати знання теорії навчальної дисципліни «Електродинаміка» та її понятійно-категоріального апарату, термінології, понять і принципів предметної області дисципліни.

Максимальні бали виставляються в разі чіткої, логічної, послідовної відповіді на поставлене питання, з виводами основних формул, формулюванням фізичних законів

У процесі оцінювання теоретичних завдань екзаменаційного білету враховуються:

- повнота розкриття питання (2 бали);
- уміння чітко формулювати визначення фізичних понять, термінів та пояснювати їх (2 бали);

- здатність аргументувати отриману відповідь (2 бали);
- здатність робити аналітичні міркування, порівняння, формулювання висновків (2 бали);
- логічна послідовність викладення матеріалу у відповіді на завдання (2 бали).

Рішення задач повинні бути обґрунтованими, з посиланням на відповідні фізичні закони та рівняння, які застосовуються при рішенні, з послідовними розрахунками всіх основних формул, доведеним до кінцевого результату з чіткою відповіддю на поставлене питання. За рішення задачі (практичного завдання) нараховуються такі бали:

1. Завдання розв'язано на оцінку 10 балів у випадку, коли студент отримав правильну відповідь і продемонстрував метод і спосіб її отримання.
2. Завдання розв'язано на оцінку 8-9 балів, коли студент не отримав правильну відповідь, але продемонстрував вірний метод і спосіб її отримання.
3. Завдання розв'язано частково на оцінку 5-7 балів, коли студент не отримав правильну відповідь, але частково розв'язав задачу та отримав деякі проміжні результати.
4. Завдання розв'язано на оцінку 0-4 балів, коли студент не отримав правильну відповідь, причому метод і спосіб розв'язання завдання були не вірними.

Екзамен зданий, якщо сумарна оцінка за письмову екзаменаційну роботу не менше 20 балів, а сумарний підсумковий бал не менше 50 балів.

Шкала оцінювання

Сума балів за всі види навчальної діяльності протягом семестру	Оцінка за національною шкалою	
	для чотирирівневої шкали оцінювання	для дворівневої шкали оцінювання
90 – 100	відмінно	зараховано
70-89	добре	
50-69	задовільно	
1-49	незадовільно	не зараховано

9. Рекомендована література

Основна література

1. L.D.Landau, E.M.Lifshitz. The Classical Theory of Field. Course of Theoretical Physics. V. 2. Butterworth Heinemann, 1994. – 428 p.
2. L.D.Landau, E.M.Lifshitz. Electrodynamics of Continuous Media. Course of Theoretical Physics. V. 8. Pergamon press, 1960. – 417 p.
3. А.М.Федорченко. Теоретична фізика. Том 1. Класична механіка і електродинаміка. К.: Вища школа, 1992
4. В.Й.Сугаков. Теоретична фізика. Електродинаміка. К.:Вища школа, 1974
5. V.V.Batygin, I.N.Toptygin. Problems in electrodynamics. Academic Press, 1978

Допоміжна література

1. Збірник задач з векторного та тензорного числення: навч. посіб. для студентів фізичних факультетів університетів / М.Ф. Ледней, М. А. Разумова, О. В. Романенко, В. М. Хотяїнцев. – К.: Видавничо-поліграфічний центр "Київський університет, 2010. – 129 с.
2. E.Taylor, J.Wheeler. Spacetime physics. Introduction to special relativity. W.H.Freeman and Company, 1992. – 312 p.
3. J.D.Jackson. Classical Electrodynamics, John Wiley, 1975. – 848 p.
4. 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.

10. Посилання на інформаційні ресурси в Інтернеті, відео-лекції, інше методичне забезпечення

1. Учбові матеріали на сайті кафедри теоретичної фізики

http://kaf-theor-phys.univer.kharkov.ua/ukrainian/for%20students_study_ukr.html

http://kaf-theor-phys.univer.kharkov.ua/ukrainian/for%20students_ref_ukr.html

3. Матеріали Массачусетського Технологічного Інституту, США. Курс лекцій «Електромагнітна теорія» проф. Л.Левітова (Prof. Leonid Levitov, MIT USA)

<http://ocw.mit.edu/courses/physics/8-311-electromagnetic-theory-spring-2004/>

4. Частина, які стосуються теорії поля, з відеокурсів проф. Р.Шанкара Йельський університет (R.Shankar, Yale University). (Основи фізики I та Основи фізики II)

<http://oyc.yale.edu/physics/phys-200> , <http://oyc.yale.edu/physics/phys-201>

4. Підручники та посібники у електронному форматі

<https://ia903206.us.archive.org/4/items/landau-and-lifshitz-physics-textbooks-series/Vol%202%20-%20Landau%2C%20Lifshitz%20-%20The%20classical%20theory%20of%20fields%20%284th%2C%201994%29.pdf>

<https://ia902704.us.archive.org/3/items/ost-physics-landaulifshitz-electrodynamicsofcontinuousmedia/LandauLifshitz-ElectrodynamicsOfContinuousMedia.pdf>

<https://ia601302.us.archive.org/10/items/ClassicalElectrodynamics2nd/Classical%20Electrodynamics%202nd.pdf>

[https://ia801301.us.archive.org/22/items/SpacetimePhysicsIntroductionToSpecialRelativityTaylorWheelerPDF/Spacetime%20Physics%20-%20Introduction%20to%20Special%20Relativity%20\[Taylor-Wheeler\]PDF.pdf](https://ia801301.us.archive.org/22/items/SpacetimePhysicsIntroductionToSpecialRelativityTaylorWheelerPDF/Spacetime%20Physics%20-%20Introduction%20to%20Special%20Relativity%20[Taylor-Wheeler]PDF.pdf)

http://dspace.univer.kharkov.ua/bitstream/123456789/93/1/Лекции_микроэд_ukr_last_last.pdf