Форма № Н - 3.04

Львівський національний університет імені Івана Франка

Кафедра теоретичної фізики

"**ЗАТВЕРДЖУЮ**"
Декан
фізичного факультету

_____ Якібчук П. М.

"_____"_____20___ р.

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

ЕЛЕКТРОДИНАМІКА

галузь знань **0402** Фізико-математичні науки
напрям підготовки **6.040206 Астрономія**
фізичний факультет

2017–2018 навчальний рік

Робоча програма навчальної дисципліни «**Електродинаміка»** для студентів за галуззю знань **0402** Фізико-математичні науки напряму підготовки **6.040206** Астрономія фізичного факультету, 2017 року. — 11 с.

Розробник:
Ровенчак Андрій Адамович, докт. фіз.-мат. наук, доцент, доцент кафедри теоретичної фізики

Робоча програма затверджена на засіданні кафедри теоретичної фізики

Протокол № 16 від “26” червня 2017 р.

В.о. завідувача кафедри теоретичної фізики

_____ (Ткачук В. М.)

“_____”_____ 2017 р

Схвалено Вченою радою фізичного факультету

Протокол від “ 27” червня 2017 р. № 5

“_____”_____2017 р. Голова _____ (Якібчук П. М.)

© Львівський національний університет імені Івана Франка, 2017

© Ровенчак А. А., 2017

1. Опис навчальної дисципліни

<table>
<tr><th rowspan="2">Найменування показників</th><th rowspan="2">Галузь знань, напрям підготовки, освітньо-кваліфікаційний рівень</th><th colspan="2">Характеристика навчальної дисципліни</th></tr>
<tr><td colspan="2">денна форма навчання</td></tr>
<tr><td>Кількість кредитів — 7.5</td><td>Галузь знань
0402 Фізико-математичні науки</td><td colspan="2">Нормативна</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Модулів — 2</td><td rowspan="2">Напрям підготовки
6.040206 Астрономія</td><td>Рік підготовки:
3-й</td><td>Рік підготовки:
3-й</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Змістових модулів — 4</td><td rowspan="3">Семестр
5-й</td><td rowspan="3">Семестр
6-й</td></tr>
<tr><td></td><td rowspan="2"></td></tr>
<tr><td>Загальна кількість годин — 225</td><td rowspan="5">Лекції
32 год.</td><td rowspan="5">Лекції
32 год.</td></tr>
<tr><td rowspan="5">Тижневих годин для денної форми навчання:
Аудиторних:
V семестр – 4
VI семестр – 4
Самостійної роботи студента:
V семестр – 3.5
VI семестр – 2.6</td><td rowspan="5">Освітньо-кваліфікаційний рівень:
бакалавр</td><td rowspan="2">Практичні
32 год</td><td rowspan="2">Практичні
32 год</td></tr>
<tr><td colspan="2">Лабораторні
—</td></tr>
<tr><td>Самостійна робота
56 год</td><td>Самостійна робота
41 год</td></tr>
<tr><td>Вид контролю:
залік</td><td>Вид контролю:
іспит</td></tr>
</table>

Примітка.
Співвідношення кількості годин аудиторних занять до самостійної роботи становить:
для денної форми навчання — 4:3

2. Мета та завдання навчальної дисципліни

Курс електродинаміки є фундаментальним розділом основного курсу теоретичної фізики.

Мета: формування в майбутнього фізика цілісної картини фізичних явищ, пов'язаних із електромагнітним полем. Це передбачає виклад основ теорії електромагнітних процесів у вакуумі та в середовищі, поглиблення знань, одержаних в загальному курсі «Електрика», засвоєння математичного апарату класичної теорії поля, вивчення теорії електромагнітного поля Максвелла-Лоренца і релятивістської теорії електромагнітного поля. Предмет навчальної дисципліни включає основні поняття та закони класичної та релятивістської електродинаміки, спеціальної теорії відносності, електродинаміки середовища.

Завдання: навчити студентів самостійно виконувати розрахунки, необхідні для розв'язування задач електродинаміки. Студент повинен усвідомити, що численні явища і закони, вивчені в загальному курсі фізики, є наслідками фундаментальних загальних принципів і рівнянь.

В результаті вивчення даного курсу студент повинен

знати основні поняття предмету; фундаментальні закони електромагнітного поля; основні положення теорії електромагнітного поля у вакуумі; основні закони макроскопічної електродинаміки; основні положення спеціальної теорії відносності та релятивістської електродинаміки.

вміти: отримати рівняння Максвелла у вакуумі та в середовищі; вивести рівняння електромагнітного поля в потенціалах; записати варіаційний принцип для електромагнітного поля; записувати рівняння електродинаміки в 3-вимірному вигляді та в коваріантній формі; сформулювати суть мультипольних розкладів для електромагнітного поля; застосувати методи класичної електродинаміки до розв'язку конкретних задач; розв'язувати основні типи задач класичної електродинаміки та спеціальної теорії відносності.

Для вивчення дисципліни необхідні знання з таких розділів математики і фізики: математичний аналіз, векторний аналіз, диференціальні рівняння, механіка, електрика.

3. Програма навчальної дисципліни

МОДУЛЬ 1

***Змістовий модуль 1*. Електродинаміка вакууму**

Тема 1. Математичний апарат електродинаміки

1. Короткий історичний нарис розвитку електродинаміки.
2. Математичний апарат електродинаміки: елементи векторного числення.

Тема 2. Рівняння електродинаміки для зарядів і струмів у вакуумі

1. Рівняння Максвелла як узагальнення дослідних фактів: закон Кулона; вихровий характер магнітного поля; закон Фарадея; джерела магнітного поля; закон Ерстеда; закон Ампера. Математичний апарат: δ-функція Дірака. Густина точкового заряду.

2. Потенціали електромагнітного поля. Означення потенціалів, рівняння для потенціалів, ґрадієнтна інваріантність електромагнітного поля, калібрування Кулона і Лоренца. Запізнювальні і випереджувальні потенціали.
3. Рівняння д’Аламбера. Поперечний струм. Математичний апарат: інтеґральне перетворення Фур'є.
4. Закони збереження. Рівняння неперервності як форма запису закону збереження. Закон збереження заряду. Закон збереження енергії. Умови випромінювання. Закон збереження імпульсу. Тензор напружень.

Змістовий модуль 2. Мультипольні розклади. Теорія випромінювання

Тема 3. Статичні поля у вакуумі

1. Безпосереднє розв'язування рівнянь для потенціалів. Мультипольні розвинення. Потенціали і поля електричного та магнітного диполів.
2. Мультипольні розвинення. Електричний квадрупольний момент. Вищі мультипольні моменти.
3. Енергія статичних полів: дві формули для енергії, енергія взаємодії та власна енергія, проблема перенормувань; енергія диполів у зовнішніх полях.

Тема 4. Вільне електромагнітне поле

1. Рівняння Максвелла для вільного поля. Плоскі, сферичні та інші хвилі. Фазова та групова швидкості. Плоска монохроматична хвиля, поляризація. Закони збереження для вільного поля, енергія та імпульс поля.
2. Осцилятори поля. Функції Лагранжа та Гамільтона вільного поля. Канонічна форма рівнянь поля.

Тема 5. Теорія випромінювання

1. Потенціали Лієнара–Віхерта. Поле рухомого точкового заряду: особливості диференціювання потенціалів Лієнара–Віхерта, обчислення полів.
2. Поле і потенціали заряду, який рухається. Випромінювання точкового заряду. Сила радіаційного гальмування. Променисте тертя.
3. Розсіяння електромагнітних хвиль точковим зарядом. Випадок вільного та зв'язаного заряду.
4. Поле системи зарядів на великих віддалях від джерела. Близька і хвильова зони. Дипольне і квадрупольне випромінювання.
5. Вищі наближення для випромінювання. Електричне квадрупольне випромінювання, магніто-дипольне випромінювання. Анапольне випромінювання. Тороїдність.

МОДУЛЬ 2

Змістовий модуль 3. **Теорія відносності.**
Коваріантна форма рівнянь електродинаміки

Тема 6. Теорія відносності

1. Принципи відносності. Інтервал між подіями. Чотиривимірні простори Мінковського.
2. Перетворення Лоренца: формули Лоренца; додавання швидкостей; власний час і скорочення Лоренца; чотиривимірні вектори і тензори.
3. Релятивістська механіка вільної частинки: інтеґрал дії, функції Лаґранжа та Гамільтона, енергія й імпульс; 4-вектор енергії-імпульсу, тензор моменту кількості руху; закони перетворення енергії, імпульсу, моменту кількості руху.
4. Рівняння руху вільної частинки у формі Лаґранжа–Ейлера, Гамільтона та Гамільтона–Якобі.
5. Заряджена частинка в електромагнітному полі: функції Лаґранжа і Гамільтона, рівняння руху.
6. 4-потенціали поля і закони їх перетворення.
7. Тензор електромагнітного поля: варіаційний принцип для знаходження рівняння руху зарядженої частинки в просторі Мінковського; тензор поля і його властивості; перетворення полів та інваріанти.

Тема 7. Коваріантна форма рівнянь електродинаміки

1. Основні співвідношення електродинаміки у просторі Мінковського: 4-струм і перетворення Лоренца; 4-форма рівнянь електродинаміки; варіаційний принцип в теорії поля; інтеграл дії для зарядів і поля; знаходження рівнянь Максвелла з варіаційного принципу.
2. Чотиривимірна форма законів збереження: тензор енергії-імпульсу довільного поля; 4-сила і густина сили; тензори енергії-імпульсу електромагнітного поля та густини частинок.

Змістовий модуль 4. **Електродинаміка середовища**

Тема 8. Рівняння макроскопічної електродинаміки

1. Мікро- та макрополя, мікроскопічні рівняння Максвелла–Лоренца. Усереднення мікроскопічних рівнянь: середні значення мікроскопічних полів, зарядів, струмів. Вектори поляризації та намагнічення.
2. Поляризація і намагнічення середовища в постійних полях: неполярні і полярні середовища, поле в конденсованому середовищі; діа- та парамагнетизм. Поляризація середовища в змінному полі.
3. Комплексна діелектрична проникність, дисперсні співвідношення.
4. Загальна характеристика матеріальних рівнянь. Умови на межі двох середовищ.
5. Дисперсні і прозорі середовища, енергія поля в середовищі.

Тема 9. Статичні поля в середовищі. Квазістатичні явища. Електромагнітні хвилі в середовищі. Нелінійні ефекти

1. Рівняння статичних полів, індуковані заряди і струми, індуктивності.
2. Умови квазістатичності та рівняння квазістатичних явищ.
3. Нормальний та аномальний скін-ефекти.
4. Магнітна гідродинаміка.
5. Магнітне поле в надпровідниках.

4. Структура навчальної дисципліни

Назви змістових модулів і тем	**Кількість годин**					
	Денна форма					
	Усього	**у тому числі**				
		л	**п**	**лаб**	**інд**	**ср**
1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**
МОДУЛЬ 1						
Змістовий модуль 1. Електродинаміка вакууму.						
Тема 1. **Математичний апарат електродинаміки**	**16**	2	4			10
Тема 2. **Рівняння електродинаміки для зарядів і струмів у вакуумі**	**34**	10	12			12
Разом – зм. модуль 1	*50*	*12*	*16*			*22*
Змістовий модуль 2. Мультипольні розклади. Теорія випромінювання.						
Тема 3. **Статичні поля у вакуумі**	**8**	6	6			10
Тема 4. **Вільне електромагнітне поле**	**30**	4	2			8
Тема 5. **Теорія випромінювання**	**30**	10	8			16
Разом – зм. модуль 2	*70*	*20*	*16*			*34*
Разом — модуль 1	***120***	***32***	***32***			***56***
МОДУЛЬ 3						
Змістовий модуль 3. Теорія відносності. Коваріантна форма рівнянь електродинаміки.						
Тема 6. **Теорія відносності**	**31**	10	10			11
Тема 7. **Коваріантна форма рівнянь електродинаміки**	**21**	6	6			9
Разом – зм. модуль 3	*52*	*16*	*16*			*20*
Змістовий модуль 4. Електродинаміка середовища.						
Тема 8. **Рівняння макроскопічної електродинаміки.**	28	10	12			12
Тема 9. **Статичні поля в середовищі. Квазістатичні явища. Електромагнітні хвилі в середовищі. Нелінійні ефекти**	16	6	4			9
Разом – зм. модуль 4	*53*	*16*	*16*			*21*
Разом — модуль 2	***105***	***32***	***32***			***41***
Усього годин	**225**	**64**	**64**			**97**

6. Теми практичних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
V семестр		
1	Математичний апарат електродинаміки: елементи векторного числення	2
2	Математичний апарат електродинаміки: інтеґральні теореми	2
3	Розв’язування задач електростатики: теорема Ґаусса	2
4	Розв’язування задач магнітостатики: теорема Стокса	2
5	Потенціал і поле в задачах електростатики. I	2
6	Потенціал і поле в задачах електростатики. II	2
7	Потенціал і поле в задачах магнітостатики	2
8	*Підсумкова контрольна робота зі змістовим модулем 1*	*2*
9	Мультипольні розклади. Дискретні розподіли	2
10	Мультипольні розклади. Неперервні розподіли. I	2
11	Мультипольні розклади. Неперервні розподіли. II	2
12	Математичний апарат електродинаміки: δ-функція	2
13	Теорія випромінювання. I	2
14	Теорія випромінювання. II	2
15	Теорія випромінювання. III	2
16	*Підсумкова контрольна робота зі змістовим модулем 2*	*2*
	Разом за V семестр	**32**
VI семестр		
1	Застосування перетворень Лоренца	2
2	Релятивістська кінематика. I	2
3	Релятивістська кінематика. II	2
4	Рух релятивістських частинок в зовнішніх полях	2
5	Релятивістська електродинаміка. I	2
6	Релятивістська електродинаміка. II	2
7	Перетворення потенціалів і полів	2
8	*Підсумкова контрольна робота зі змістовим модулем 3*	*2*
9	Електродинаміка діелектриків. I	2
10	Електродинаміка діелектриків. II	2
11	Електродинаміка діелектриків. III	2
12	Магнітне поле в середовищі.	2
13	Взаємодія атома з електромагнітним полем.	2
14	Розрахунок ємностей для різних конфігурацій	2
15	Статичні поля в середовищах: індуковані заряди і струми, сфера і циліндр в однорідних полях	2
16	*Підсумкова контрольна робота зі змістовим модулем 4*	*2*
	Разом за VI семестр	**32**
	Разом	**64**

7. Теми лабораторних занять

Лабораторні заняття в курсі не передбачені.

8. Самостійна робота

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
V семестр		
1	Математичний апарат електродинаміки: елементи векторного числення	5
2	Застосування δ-функцій	5
3	Системи одиниць в електродинаміці	3
4	Розв’язування задач електростатики з використанням теореми Ґаусса	3
5	Розв’язування задач електростатики за допомогою безпосереднього інтегрування розподілу зарядів	3
6	Розв’язування задач магнітостатики з використанням теореми Стокса	3
7	Розв’язування задач магнітостатики за допомогою безпосереднього інтегрування розподілу струмів	4
8	Мультипольні розклади для систем точкових зарядів	4
9	Мультипольні розклади для неперервного розподілу зарядів	10
10	Метод зображень	6
11	Теорія випромінювання	10
	Разом за V семестр	**56**
VI семестр		
12	Застосування перетворень Лоренца	3
13	Рух релятивістських частинок в зовнішніх полях	4
14	Перетворення потенціалів і полів	4
15	Релятивістська кінематика	3
16	Релятивістська електродинаміка	6
17	Електродинаміка середовища, знаходження полів	8
18	Умови на межі двох середовищ	4
19	Розрахунки ємності та індуктивності	3
20	Скін-ефект	3
21	Електромагнітні хвилі в середовищі	3
	Разом за VI семестр	**41**
	Разом	**97**

9. Індивідуальні завдання

Індивідуальні завдання в курсі не передбачені.

10. Методи навчання

Під час вивчення навчальної дисципліни «Електродинаміка» застосовують такі методи навчання:

- *Наочні*: виведення на дошці основних співвідношень на лекціях і практичних заняттях;
- *Практичні*: задачі для практичних занять.

11. Методи контролю

Контроль засвоєння матеріалу включає поточний контроль (контрольні роботи за чотирма змістовими модулями, по два в кожному семестрі — 2×15 = 30 балів за семестр), оцінку відповідей та роботи на практичних заняттях (20 балів за семестр) — разом за семестр 50 балів (S_1 — оцінка за осінній семестр, S_2 — оцінка за весняний семестр). Залікова оцінка в осінньому семестрі виставляється як $2 \times S_1$. Оцінка поточного контролю (ПК) визначається як середнє оцінок за два семестри за формулою: ПК = $(S_1 + S_2)/2$. Іспит складається з тестової частини (30 балів) і перевірки теоретичних та практичних знань за допомогою завдань більшого обсягу (2×10 = 20 балів) — разом 50 балів. Сумарна оцінка, таким чином, виставляється за 100-бальною шкалою у кожному семестрі.

12. Розподіл балів, які отримують студенти

Розподіл балів, які отримують студенти (для заліку), V семестр

Поточне тестування та самостійна робота		**Робота на практичних**	**Сума**
Змістовий модуль 1	**Змістовий модуль 2**		
Т1-3	**Т4-5**		
15	15	20	50 × 2 = 100

***Розподіл балів, які отримують студенти (для екзамену), VI* семестр**

Поточне тестування та самостійна робота		**Робота на практичних**	**Підсумковий тест (екзамен)**	**Сума**
Змістовий модуль 3	**Змістовий модуль 4**			
Т1-3	**Т4-5**			
15	15	20	50	100

Шкала оцінювання: національна та ECTS

Сума балів за всі види навчальної діяльності	Оцінка ECTS	Оцінка за національною шкалою (для екзамену)
90–100	**A**	відмінно
81–89	**B**	добре
71–80	**C**	
61–70	**D**	задовільно
51–60	**E**	
25–50	**FX**	незадовільно з можливістю повторного складання
0–24	**F**	незадовільно з обов’язковим повторним вивченням дисципліни

13. Методичне забезпечення

До системи методичного забезпечення дисципліни належить програма курсу, робоча навчальна програма, тексти лекцій і перелік задач для практичних занять і модульного контролю в електронному вигляді, тестові завдання для проведення іспиту, перелік теоретичних і практичних завдань для іспиту, методичні вказівки:

1. *В. М. Мигаль.* Випромінювання електромагнітних хвиль: Методичні вказівки до розв'язування задач з вибраних розділів електродинаміки для студентів III курсу фізичного факультету. — Львів: ЛДУ, 1999.
2. Збірник задач з електродинаміки / *М. В. Блажиєвська, О. І. Григорчак, Ю. С. Криницький та ін. ; за ред. Ю. С. Криницького та А. А. Ровенчака*. Львів: ЛНУ імені Івана Франка, 2015.

14. Рекомендована література

Базова

1. *М. М. Бредов, В. В. Румянцев, И. Н. Топтыгин*, Классическая электродинамика, 1985.
2. *Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц*, Теория поля, 1988.
3. *Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц*, Электродинамика сплошних сред, 1982.
4. *И. В. Савельев*, Основы теоретической физики, т. 1, 1975.
5. *Я. П. Терлецкий, Ю. П. Рыбаков*, Электродинамика, 1990.
6. *А. М. Федорченко*, Теоретична фізика, т. 1, 1988.

Допоміжна

1. *В. В. Батыгин, И. Н. Топтыгин.* Сборник задач по электродинамике. — М.: Физматгиз, 1962.
2. *Е. Г. Векштейн*, Сборник задач по электродинамике. — М.: Высшая школа, 1966.

15. Інформаційні ресурси

1. Eric Weisstein's World of Physics http://scienceworld.wolfram.com/physics/
2. Wikipedia. http://www.wikipedia.org