

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**Львівський національний університет імені Івана Франка**  
**Фізичний факультет**  
**Кафедра теоретичної фізики імені професора Івана Вакарчука**

**Затверджено**

На засіданні кафедри теоретичної фізики імені  
професора Івана Вакарчука  
фізичного факультету  
Львівського національного університету  
імені Івана Франка  
(протокол № 1 від 30.08.2021 р.)

Завідувач кафедри  професор В. М. Ткачук

**Силабус**  
**з навчальної дисципліни «Електродинаміка»,**  
**що викладається в межах**  
**ОПП «Середня освіта (Фізика)»**  
**першого (бакалаврського) рівня вищої освіти**  
**для здобувачів з спеціальності 014 Середня освіта**  
**предметної спеціальності 014.08 Середня освіта. Фізика**

Дисципліна вивчатиметься у 2022–23 н.р.

**Львів 2021**

<b>Назва дисципліни</b>	Електродинаміка
<b>Адреса викладання дисципліни</b>	вул. Драгоманова, 12, 79005, м. Львів
<b>Факультет та кафедра, за якою закріплена дисципліна</b>	фізичний факультет, кафедра теоретичної фізики імені професора Івана Вакарчука
<b>Галузь знань, шифр та назва спеціальності</b>	01 Освіта/Педагогіка, 014.08 «Середня освіта. Фізика»
<b>Викладачі дисципліни</b>	доцент кафедри теоретичної фізики імені професора Івана Вакарчука, канд.ф.-м.н., доц. Пастухов Володимир Степанович; професор кафедри теоретичної фізики імені професора Івана Вакарчука, докт.ф.-м.н., проф. Ровенчак Андрій Адамович
<b>Контактна інформація викладачів</b>	volodymyr.pastukhov@lnu.edu.ua; volodyapastukhov@gmail.com <a href="https://physics.lnu.edu.ua/employee/pastukhov-v-s">https://physics.lnu.edu.ua/employee/pastukhov-v-s</a> andrij.rovenchak@lnu.edu.ua; andrij.rovenchak@gmail.com <a href="https://physics.lnu.edu.ua/employee/rovenchak-a-a">https://physics.lnu.edu.ua/employee/rovenchak-a-a</a>
<b>Консультації з дисципліни відбуваються</b>	Консультації в день проведення лекцій та практичних занять (за попередньою домовленістю). Також можливі консультації через електронну пошту або он-лайн засобами Zoom, Microsoft Teams, Skype.
<b>Сторінка дисципліни</b>	<a href="https://physics.lnu.edu.ua/course/elktrodynamika-014-08-serednia-osvita-fizyka">https://physics.lnu.edu.ua/course/elktrodynamika-014-08-serednia-osvita-fizyka</a>
<b>Інформація про дисципліну</b>	Курс «Електродинаміка» є нормативною дисципліною з спеціальності 014 Середня освіта для освітньої програми бакалавра, яка викладається в VI семестрі обсягом 3 кредитів (за Європейською Кредитно-Трансферною Системою ECTS).
<b>Коротка анотація дисципліни</b>	Курс розроблено таким чином, щоб стисло подати основи класичної та релятивістської електродинаміки, спеціальної теорії відносності, електродинаміки середовища.
<b>Мета та цілі дисципліни</b>	Метою і завданням навчальної дисципліни «Електродинаміка» є 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.

<p><b>Література для вивчення дисципліни</b></p>	<p><b>Базова:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. М. М. Бредов, В. В. Румянцев, И. Н. Топтыгин, Классическая электродинамика, 1985.</li> <li>2. Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц, Теория поля, 1988.</li> <li>3. Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц, Электродинамика сплошных сред, 1982.</li> <li>4. И. В. Савельев, Основы теоретической физики, т. 1, 1975.</li> <li>5. Я. П. Терлецкий, Ю. П. Рыбаков, Электродинамика, 1990.</li> <li>6. А. М. Федорченко, Теоретична фізика, т. 1, 1988.</li> </ol> <p><b>Допоміжна:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>7. В. В. Батыгин, И. Н. Топтыгин. Сборник задач по электродинамике. — М.: Физматгиз, 1962.</li> <li>8. Е. Г. Векштейн, Сборник задач по электродинамике. — М.: Высшая школа, 1966.</li> <li>9. В. М. Мигаль. Випромінювання електромагнітних хвиль: Методичні вказівки до розв'язування задач з вибраних розділів электродинаміки для студентів III курсу фізичного факультету. — Львів: ЛДУ, 1999.</li> <li>10. Збірник задач з электродинаміки / М. В. Блажиевська, О. І. Григорчак, Ю. С. Криницький та ін.; за ред. Ю. С. Криницького та А. А. Ровенчака. Львів: ЛНУ імені Івана Франка, 2015.</li> </ol> <p><b>Інформаційні ресурси:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Eric Weisstein's World of Physics <a href="http://scienceworld.wolfram.com/physics/">http://scienceworld.wolfram.com/physics/</a></li> <li>2. Wikipedia. <a href="http://www.wikipedia.org">http://www.wikipedia.org</a></li> </ol>
<p><b>Обсяг курсу</b></p>	<p>90 годин, з яких 64 годин аудиторних занять, з них 32 годин лекцій, 32 годин практичних занять, та 26 години самостійної роботи. Тижневе навантаження складає 4 годин аудиторних занять та 1,625 години самостійної роботи.</p>
<p><b>Очікувані результати навчання</b></p>	<p>Курс формує такі загальні (ЗК) та спеціальні компетентності (СК):</p> <p><i>Загальні компетентності:</i></p> <p>ЗК3. Здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями. ЗК9. Навички використання інформаційних і комунікаційних технологій.</p> <p><i>Спеціальні компетентності:</i></p> <p>СК4. Здатність коректно застосовувати фізичні поняття, закони, принципи, теорії у поєднанні з необхідним математичним інструментарієм для пояснення фізичних явищ і процесів з використанням сучасних засобів навчання. СК12. Володіння базовими поняттями, аксіомами та постулатами загальної і теоретичної фізики, знання основних законів і принципів сучасної фізики та астрономії, вміння визначати межі їх застосування.</p>

	<p><i>Програмні результати навчання (ПРН), на досягнення яких спрямоване вивчення курсу:</i></p> <p>ПРН13. Знати та розуміти основні поняття, закони, теорії, загальну</p> <p>ПРН14. Аналізувати фізичні явища і процеси на основі фізичних законів, теорій, принципів, із застосуванням відповідних математичних методів.</p> <p>ПРН22. Розуміти місце фізики та астрономії у загальній системі знань про природу і суспільство та у розвитку суспільства, техніки і технологій.</p>
<b>Ключові слова</b>	Рівняння Максвелла; потенціали електромагнітного поля; умови випромінювання; релятивістська механіка; рівняння Максвелла–Лоренца
<b>Формат курсу</b>	Очний
	проведення лекцій, практичних занять та консультації для кращого розуміння тем
<b>Теми</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Математичний апарат електродинаміки</li> <li>2. Рівняння електродинаміки для зарядів і струмів у вакуумі</li> <li>3. Теорія випромінювання</li> <li>4. Теорія відносності. Коваріантна форма рівнянь електродинаміки</li> <li>5. Рівняння макроскопічної електродинаміки</li> <li>6. Статичні поля в середовищі. Квазістатичні явища</li> </ol>
<b>Підсумковий контроль, форма</b>	<p>Поточний контроль: усне та письмове опитування, модульні тести, оцінка практичних завдань.</p> <p>Підсумковий контроль: іспит в кінці 6-го семестру.</p> <p>Форма: Письмово-усний.</p>
<b>Пререквізити</b>	Для вивчення курсу студенти потребують знань із таких дисциплін: математичний аналіз, векторний аналіз, диференціальні рівняння, механіка, електрика.
<b>Навчальні методи та техніки, які будуть використовуватися під час викладання курсу</b>	<p>Лекції, розв'язування задач на дошці.</p> <p>Передбачено ілюстрування лекційного матеріалу схемами та рисунками.</p>
<b>Необхідне обладнання</b>	персональний комп'ютер, загальноживані комп'ютерні програми й операційні системи, проектор.
<b>Критерії оцінювання (окремо для кожного виду навчальної діяльності)</b>	<p>Оцінювання проводиться за 100-бальною шкалою. Бали нараховуються за таким співвідношенням:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• робота на практичних заняттях під час семестру, 20% семестрової оцінки; максимальна кількість балів — 20;</li> <li>• контрольні роботи: 30% семестрової оцінки; максимальна кількість балів — 30;</li> <li>• результати іспиту: 50% семестрової оцінки; максимальна кількість балів — 50;</li> </ul> <p>Підсумкова максимальна кількість балів — 100.</p> <p><b>Письмові роботи:</b> Очікується, що студенти виконають дві контрольні роботи.</p> <p><b>Академічна доброчесність:</b> Очікується, що контрольні роботи студентів будуть оригінальними. Списування, втручання в роботу інших студентів становлять, але не обмежують, приклади можливої</p>

	<p>академічної недоброчесності. Виявлення ознак академічної недоброчесності в письмовій роботі студента є підставою для її незарахування викладачем, незалежно від масштабів плагіату чи обману.</p> <p><b>Відвідання занять</b> є важливою складовою навчання. Очікується, що всі студенти відвідають усі лекції і практичні заняття курсу. Студенти мають інформувати викладача про неможливість відвідати заняття. У будь-якому випадку студенти зобов'язані дотримуватися усіх строків, визначених для виконання усіх видів письмових робіт, передбачених курсом.</p> <p><b>Література.</b> Усю література, яку студенти не зможуть знайти самостійно, буде надано викладачами виключно в освітніх цілях без права її передавання третім особам. Студенти заохочуються до використання також й іншої літератури та джерел, яких немає серед рекомендованих.</p> <p><b>Політика виставлення балів.</b> Враховуються бали, набрані за роботу на практичних заняттях, контрольних роботах та на іспиті. При цьому обов'язково враховуються присутність на заняттях та активність студента під час заняття; недопустимість пропусків та запізньєнь на заняття; користування мобільним телефоном, планшетом чи іншими мобільними пристроями під час заняття в цілях, не пов'язаних із навчанням; списування та плагіат; несвоєчасне виконання поставленого завдання і т. ін.</p> <p>Жодні форми порушення академічної доброчесності не толеруються.</p>
<p><b>Орієнтовний перелік питань на іспит</b></p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Рівняння Максвелла як узагальнення дослідних фактів.</li> <li>2. Потенціали електромагнітного поля.</li> <li>3. Запізнювальні і випереджувальні потенціали.</li> <li>4. Закони збереження. Рівняння неперервності як форма запису закону збереження</li> <li>5. Умови випромінювання. Закон збереження імпульсу.</li> <li>6. Мультипольні розвинення.</li> <li>7. Електричний квадрупольний момент. Вищі мультипольні моменти.</li> <li>8. Рівняння Максвелла для вільного поля.</li> <li>9. Плоскі, сферичні та інші хвилі. Фазова та групова швидкості.</li> <li>10. Потенціали Лієнара–Віхерта.</li> <li>11. Сила радіаційного гальмування. Променисте тертя.</li> <li>12. Поле системи зарядів на великих віддальх від джерела.</li> <li>13. Принципи відносності. Інтервал між подіями.</li> <li>14. Перетворення Лоренца.</li> <li>15. Релятивістська механіка вільної частинки</li> <li>16. 4-потенціали поля і закони їх перетворення.</li> <li>17. Тензор електромагнітного поля: варіаційний принцип для знаходження рівняння руху зарядженої частинки в просторі Мінковського.</li> <li>18. Мікро- та макрополя, мікроскопічні рівняння Максвелла–Лоренца.</li> </ol>

	<p>19. Вектори поляризації та намагнічення.</p> <p>20. Умови на межі двох середовищ.</p> <p>21. Рівняння статичних полів, індуковані заряди і струми, індуктивності.</p>
<b>Опитування</b>	Анкету-оцінку з метою оцінювання якості курсу буде надано по завершенню курсу.

Таблиця 1

## Схема курсу «Електродинаміка»

Тижні	Тема занять (перелік питань)	Форма діяльності та обсяг годин	Термін виконання
1	<b>1. Математичний апарат електродинаміки.</b> Короткий історичний нарис розвитку електродинаміки. Математичний апарат електродинаміки: елементи векторного числення.	Лекції — 2 год, практичні — 2 год, самостійна робота — 2 год	1 тиждень
2–3	<b>2. Рівняння електродинаміки для зарядів і струмів у вакуумі.</b> Рівняння Максвелла як узагальнення дослідних фактів: закон Кулона; вихровий характер магнітного поля; закон Фарадея; джерела магнітного поля; закон Ерстеда; закон Ампера. Математичний апарат: $\delta$ -функція Дірака. Густина точкового заряду. Потенціали електромагнітного поля. Означення потенціалів, рівняння для потенціалів, градієнтна інваріантність електромагнітного поля, калібрування Кулона і Лоренца. Рівняння д'Аламбера. Поперечний струм. Запізнювальні і випереджувальні потенціали.	Лекції — 4 год, практичні — 4 год, самостійна робота — 6 год	2 тижні
4–5	<b>2. Рівняння електродинаміки для зарядів і струмів у вакуумі.</b> Закони збереження. Рівняння неперервності як форма запису закону збереження. Закон збереження заряду. Закон збереження енергії. Умови випромінювання. Закон збереження імпульсу. Тензор напружень. Статичні поля у вакуумі. Рівняння для статичних полів. Безпосереднє розв'язування рівнянь для потенціалів. Мультипольні розвинення. Потенціали і поля електричного та магнітного диполів. Електричний квадрупольний момент. Вищі мультипольні моменти.	Лекції — 4 год, практичні — 4 год, самостійна робота — 6 год	2 тижні

Тижні	Тема занять (перелік питань)	Форма діяльності та обсяг годин	Термін виконання
6–7	<b>3. Теорія випромінювання.</b> Рівняння Максвелла для вільного поля. Плоскі, сферичні та інші хвилі. Фазова та групова швидкості. Закони збереження для вільного поля, енергія та імпульс поля. Потенціали Лієнара–Віхерта. Поле рухомого точкового заряду: особливості диференціювання потенціалів Лієнара–Віхерта, обчислення полів.	Лекції — 2 год, практичні — 4 год, самостійна робота — 1 год	2 тижні
8–9	<b>3. Теорія випромінювання.</b> Поле і потенціали заряду, який рухається. Випромінювання точкового заряду. Сила радіаційного гальмування. Променисте тертя. Поле системи зарядів на великих відстанях від джерела. Близька і хвильова зони. Дипольне і квадрупольне випромінювання.	Лекції — 2 год, практичні — 4 год, самостійна робота — 1 год	2 тижні
10–12	<b>4. Теорія відносності. Коваріантна форма рівнянь електродинаміки.</b> Принципи відносності. Інтервал між подіями. Чотиривимірні простори Мінковського. Перетворення Лоренца: формули Лоренца; додавання швидкостей; власний час і скорочення Лоренца; чотиривимірні вектори і тензори. Релятивістська механіка вільної частинки: інтеграл дії, функції Лагранжа та Гамільтона, енергія й імпульс; 4-вектор енергії-імпульсу, тензор моменту кількості руху; закони перетворення енергії, імпульсу, моменту кількості руху. 4-потенціали поля і закони їх перетворення. Тензор електромагнітного поля: варіаційний принцип для знаходження рівняння руху зарядженої частинки в просторі Мінковського; тензор поля і його властивості; перетворення полів та інваріанти.	Лекції — 6 год, практичні — 6 год, самостійна робота — 8 год	3 тижні

Тижні	Тема занять (перелік питань)	Форма діяльності та обсяг годин	Термін виконання
13-15	<p><b>5. Рівняння макроскопічної електродинаміки.</b> Мікро- та макрополя, мікроскопічні рівняння Максвелла–Лоренца. Усереднення мікроскопічних рівнянь: середні значення мікроскопічних полів, зарядів, струмів. Вектори поляризації та намагнічення. Поляризація і намагнічення середовища в постійних полях: неполярні і полярні середовища, поле в конденсованому середовищі; діа- та парамагнетизм. Загальна характеристика матеріальних рівнянь. Умови на межі двох середовищ.</p>	<p>Лекції — 6 год, практичні — 6 год, самостійна робота — 2 год</p>	3 тижні
16	<p><b>6. Статичні поля в середовищі. Квазістатичні явища.</b> Рівняння статичних полів, індуковані заряди і струми, індуктивності. Умови квазістатичності та рівняння квазістатичних явищ. Нормальний та аномальний скін-ефекти.</p>	<p>Лекції — 2 год, практичні — 2 год, самостійна робота — 0 год</p>	1 тиждень