

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 31.08.2022 р.)

Завідувач кафедри  професор В. М. Ткачук

Силабус
з навчальної дисципліни «Електродинаміка»,
що викладається в межах
ОПШ «Квантові комп'ютери та квантове програмування»
першого (бакалаврського) рівня вищої освіти
для здобувачів з спеціальності 104 Фізика та астрономія

Львів 2022

Назва дисципліни	Електродинаміка
Адреса викладання дисципліни	вул. Драгоманова, 12, 79005, м. Львів
Факультет та кафедра, за якою закріплена дисципліна	фізичний факультет, кафедра теоретичної фізики імені професора Івана Вакарчука
Галузь знань, шифр та назва спеціальності	Галузь знань — 10 Природничі науки Спеціальність — 104 Фізика та астрономія
Викладачі дисципліни	Лектор: доцент кафедри теоретичної фізики імені професора Івана Вакарчука, к.ф.-м.н. Понеділок Григорій Володимирович
Контактна інформація викладачів	ponedilok@polynet.lviv.ua
Консультації з курсу відбуваються	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.
Сторінка курсу	
Інформація про дисципліну	Дисципліна «Електродинаміка» є вибірковою і розрахована на слухачів спеціальності «104 Фізика та астрономія» (ОПП «Квантові комп'ютери та квантове програмування») освітнього рівня бакалавра. Її викладають у V семестрі в обсязі 4 кредити (за Європейською Кредитно-Трансферною Системою ECTS).
Коротка анотація дисципліни	Предметом курсу електродинаміки є викладення основ електро і магніто статички та основ класичної електродинаміки, яка базується на принципах, закладених у теорії Максвелла — Лоренца. Розглядаються елементи релятивістської електродинаміки, які покладені в основу спеціальної теорії відносності Ейнштейна. Докладно викладені математичні методи електростатички, магнітостатички та електродинаміки, та їх застосування до вирішення широкого кола важливих практичних задач.
Мета та цілі дисципліни	Метою і завданням навчальної дисципліни «Електродинаміка» є формування в майбутнього фахівця цілісної картини фізичних явищ і процесів, пов'язаних із електромагнітним полем, та його взаємодією з речовиною. Основна ціль вивчення дисципліни полягає в творчому опануванні основних законів класичної електродинаміки, оволодіння математичним апаратом електродинаміки та практичними навичками розв'язання задач, які можуть виникати у майбутній діяльності фізика.
Література для вивчення дисципліни	Базова: 1. В. А. Головацький, <i>Електродинаміка</i> . Чернівці: Рута, 2011. 2. В. О. Іванов, Є. І. Габрусенко, Л. В. Сібрук, <i>Теорія електромагнітного поля</i> . Київ: НАУ, 2017. 3. А. М. Федорченко, <i>Теоретична фізика</i> , т. 1, 1988. 4. Г.В. Понеділок <i>Фізика електромагнітних явищ</i> . Львів, Видавництво НУ ЛП, 2016. 5. L. L. Deraad, K. A. Milton, J. Schwinger, and Wu-yang Tsai, <i>Classical Electrodynamics</i> . CRC Press, 2019. 6. J. D. Jackson, <i>Classical Electrodynamics</i> . 3rd edition. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1999. 7. D. Griffiths <i>Introduction to Electrodynamics</i> . Prentice-Hall, Inc. Upper Saddle River, New Jersey, 1999. Допоміжна: 1. М. В. Блажиевська, О. І. Григорчак, Ю. С. Криницький та ін.; за ред. Ю. С. Криницького та А. А. Ровенчака, <i>Збірник задач з</i>

	<p><i>електродинаміки</i>. Львів: ЛНУ імені Івана Франка, 2015.</p> <p>2. В. М. Мигаль, <i>Випромінювання електромагнітних хвиль: Методичні вказівки до розв'язування задач з вибраних розділів електродинаміки для студентів III курсу фізичного факультету</i>. Львів: ЛДУ, 1999.</p> <p>3. Г. Понеділок, А. Данилов <i>Векторний потенціал</i>. Методичні вказівки з курсу “Електродинаміка”. Львів. Видавництво НУ”ЛП”, 2016/</p> <p>4. В. В. Обуховський, <i>Збірка задач для контрольних робіт з електродинаміки</i>. Київ: Вид-во КНУ імені Тараса Шевченка, 2003.</p> <p>5. A. Rovenchak, Yu. Krynytskyi. Radiation of the electromagnetic field beyond the dipole approximation. <i>Am. J. Phys.</i> 86(10): 727–732 (2018); https://doi.org/10.1119/1.5052427</p> <p>Інформаційні ресурси:</p> <p>1. Eric Weisstein's World of Physics https://scienceworld.wolfram.com/physics/</p> <p>2. Wikipedia. https://www.wikipedia.org</p> <p>3. The Feynman Lectures on Physics. Vol. II: The electromagnetic field. https://www.feynmanlectures.caltech.edu/II_toc.html</p>
Тривалість курсу	один семестр
Обсяг курсу	120 годин, з яких 64 годин аудиторних занять, з них 32 годин лекцій, 32 годин практичних занять, та 56 години самостійної роботи.
Очікувані результати навчання	<p>Курс “Електродинаміка” формує такі загальні (ЗК) та спеціальні компетентності (СК):</p> <p><i>Загальні компетентності:</i></p> <p>К01. Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу.</p> <p>К06. Навички міжособистісної взаємодії.</p> <p><i>Спеціальні компетентності:</i></p> <p>К16. Знання і розуміння теоретичного та експериментального базису сучасної фізики та астрономії.</p> <p>К18. Здатність оцінювати порядок величин у різних дослідженнях, так само як точності та значимості результатів.</p> <p>К21. Здатність моделювати фізичні системи та астрономічні явища і процеси.</p> <p>К23. Здатність виконувати теоретичні та експериментальні дослідження автономно та у складі наукової групи.</p> <p>К24. Здатність працювати з джерелами навчальної та наукової інформації.</p> <p>К25. Здатність самостійно навчатися і опановувати нові знання з фізики, астрономії та суміжних галузей.</p> <p>К26. Розвинуте відчуття особистої відповідальності за достовірність результатів досліджень та дотримання принципів академічної доброчесності разом з професійною гнучкістю.</p> <p>К28. Орієнтація на найвищі наукові стандарти – обізнаність щодо фундаментальних відкриттів та теорій, які суттєво вплинули на розвиток фізики, астрономії та інших природничих наук.</p> <p><i>Програмні результати навчання (ПР), на досягнення яких спрямоване вивчення курсу:</i></p> <p>ПР01. Знати, розуміти та вміти застосовувати основні положення загальної та теоретичної фізики, зокрема, класичної, релятивістської та</p>

	<p>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.</p> <p>ПР03. Знати і розуміти експериментальні основи фізики: аналізувати, описувати, тлумачити та пояснювати основні експериментальні підтвердження існуючих фізичних теорій. ПР04. Вміти застосовувати базові математичні знання, які використовуються у фізиці та астрономії: з аналітичної геометрії, лінійної алгебри, математичного аналізу, диференціальних та інтегральних рівнянь, теорії ймовірностей та математичної статистики, теорії груп, методів математичної фізики, теорії функцій комплексної змінної, математичного моделювання.</p> <p>ПР05. Знати основні актуальні проблеми сучасної фізики та астрономії.</p> <p>ПР06. Оцінювати вплив новітніх відкриттів на розвиток сучасної фізики та астрономії.</p> <p>ПР08. 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.</p> <p>ПР11. Вміти упорядковувати, тлумачити та узагальнювати одержані наукові та практичні результати, робити висновки.</p> <p>ПР12. Вміти представляти одержані наукові результати, брати участь у дискусіях стосовно змісту і результатів власного наукового дослідження.</p> <p>ПР24. Розуміти місце фізики та астрономії у загальній системі знань про природу і суспільство та у розвитку суспільства, техніки і технологій.</p>
Ключові слова	Рівняння електростатики. Рівняння магнітостатики. Система рівнянь Максвелла; потенціали електромагнітного поля. Електромагнітні хвилі. умови випромінювання.
Формат курсу	Очний
Теми	Див. Табл. 1 Схема курсу
Підсумковий контроль, форма	Іспит. Форма: Письмово-усний.
Пререквізити	Для вивчення курсу студенти потребують знань із таких дисциплін: математичний аналіз, векторний та тензорний аналіз, диференціальні рівняння, рівняння математичної фізики механіка, електрика, оптика.
Навчальні методи та техніки, які будуть використовуватися під час викладання курсу	Презентація, лекції, розв'язування задач. Передбачено ілюстрування лекційного матеріалу схемами та рисунками.
Необхідне обладнання	персональний комп'ютер, загальнонавчівані комп'ютерні програми й операційні системи, проектор, доступ до інтернету
Критерії оцінювання (окремо для кожного виду навчальної діяльності)	<p>Оцінювання проводиться за 100-бальною шкалою. Бали нараховуються за таким співвідношенням:</p> <ul style="list-style-type: none"> • робота на практичних заняттях під час семестру (усереднена оцінка), 20% семестрової оцінки; максимальна кількість балів — 20; • 2 контрольні роботи (на практичних заняттях): 30% семестрової оцінки; максимальна кількість балів — 30; • результати іспиту: 50% підсумкової оцінки; максимальна кількість

	<p>балів — 50; Підсумкова максимальна кількість балів — 100.</p> <p>Письмові роботи: Студенти виконають дві контрольні роботи.</p> <p>Академічна доброчесність: Контрольні роботи студентів будуть індивідуальними, задачі в різних варіантах не повторюються. Списування, втручання в роботу інших студентів не можливе. Виявлення ознак академічної недоброчесності в письмовій роботі студента (використання ресурсів інтернету) є підставою для її незарахування викладачем, незалежно від масштабів плагіату чи обману.</p> <p>Відвідання занять 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>Література. Усю літературу, яку студенти не зможуть знайти самостійно, буде надано викладачами виключно в освітніх цілях без права її передавання третім особам. Викладачем курсу будуть надані електронні адреси відкритих навчальних ресурсів вітчизняних та закордонних вищих навчальних закладів. Студенти заохочуються до використання також й іншої літератури та джерел, яких немає серед рекомендованих.</p> <p>Політика виставлення балів. 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 запізнь 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>Тематика практичних занять</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Математичний апарат електродинаміки: елементи векторного аналізу, диференціальні операції векторного аналізу. 2. Математичний апарат електродинаміки: Інтегральні теореми 3. Розв'язування задач електростатики: теорема Гаусса 4. Розв'язування задач магнітостатики: теорема Стокса 5. Потенціал і поле в задачах електростатики. 6. Потенціал і поле в задачах магнітостатики. 7. Мультипольні розклади. Дискретні розподіли 8. Мультипольні розклади. Неперервні розподіли. 9. Граничні умови на межі поділу середовищ. 10. Елементи теорія випромінювання. <p>Типові задачі можна переглянути тут.</p>
<p>Опитування</p>	<p>Анкету-оцінку з метою оцінювання якості курсу буде надано по завершенню курсу.</p>

Схема курсу «Електродинаміка»

Тижні	Тема занять (перелік питань)	Форма діяльності та обсяг годин	Термін виконання
1	1. Основи електростатики. Закон Кулона, напруженість та потенціал електростатичного поля. Теорема Гаусса.	Лекції — 2 год, практичні — 2 год, самостійна робота — 7 год	1 тиждень
2	2. Основи магнітостатики. Закон Ампера. Вихровий характер магнітного поля Векторний потенціал. Закон Біо-Савара-Лапласа. Густина струму, рівняння неперервності. Магнітний диполь та його характеристики. Магнітний дипольний момент.	Лекції — 2 год, практичні — 2 год, самостійна робота — 9 год	1 тиждень
3	3. Потенціали електромагнітного поля. Означення потенціалів, рівняння для потенціалів, градієнтна інваріантність електромагнітного поля, калібрування Кулона і Лоренца. Запізнювальні і випереджувальні потенціали.	Лекції — 2 год, практичні — 2 год, самостійна робота — 9 год	1 тиждень
4	4. Потенціали електромагнітного поля. Рівняння д'Аламбера. Поперечний струм. Математичний апарат: інтегральне перетворення Фур'є.	Лекції — 2 год, практичні — 2 год, самостійна робота — 9 год	1 тиждень
5	5. Закони збереження. Рівняння неперервності як форма запису закону збереження. Закон збереження заряду. Закон збереження енергії. Умови випромінювання.	Лекції — 2 год, практичні — 2 год, самостійна робота — 9 год	1 тиждень
6	6. Закони збереження. Закон збереження імпульсу. Тензор напружень.	Лекції — 2 год, практичні — 2 год, самостійна робота — 9 год	1 тиждень
7	7. Рівняння для статичних полів. Безпосереднє розв'язування рівнянь для потенціалів. Рівняння Пуассона та деякі методи його розв'язання.	Лекції — 2 год, практичні — 2 год, самостійна робота — 9 год	1 тиждень
8	8. Мультипольні розвинення. Потенціали і поля електричного та магнітного диполів.	Лекції — 2 год, практичні — 2 год, самостійна робота — 9 год	1 тиждень
9	9. Мультипольні розвинення. Електричний квадрупольний момент. Вищі мультипольні моменти.	Лекції — 2 год, практичні — 2 год, самостійна робота — 9 год	1 тиждень
10	10. 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.	Лекції — 2 год, практичні — 2 год, самостійна робота — 9 год	1 тиждень
11	11. Осцилятори поля. Функції Лагранжа та Гамільтона вільного поля. Канонічна форма рівнянь поля.	Лекції — 2 год, практичні — 2 год, самостійна робота — 9 год	1 тиждень

Тижні	Тема занять (перелік питань)	Форма діяльності та обсяг годин	Термін виконання
12	12. Потенціали Лієнара–Віхерта. Поле рухомого точкового заряду: особливості диференціювання потенціалів Лієнара–Віхерта, обчислення полів.	Лекції — 2 год, практичні — 2 год, самостійна робота — 9 год	1 тиждень
13	13. Поле і потенціали заряду, який рухається. Випромінювання точкового заряду. Сила радіаційного гальмування. Променисте тертя.	Лекції — 2 год, практичні — 2 год, самостійна робота — 9 год	1 тиждень
14	14. Розсіяння електромагнітних хвиль точковим зарядом. Випадок вільного та зв'язаного заряду.	Лекції — 2 год, практичні — 2 год, самостійна робота — 9 год	1 тиждень
15	15. Поле системи зарядів на великих відстанях від джерела. Близька і хвильова зони. Дипольне і квадрупольне випромінювання.	Лекції — 2 год, практичні — 2 год, самостійна робота — 9 год	1 тиждень
16	16. Вищі наближення для випромінювання. Електричне квадрупольне випромінювання, магніто-дипольне випромінювання. Анапольне випромінювання. Тороїдність.	Лекції — 2 год, практичні — 2 год, самостійна робота — 9 год	1 тиждень