

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 «Вступ до класичної електродинаміки»,
що викладається в межах ОПП «Фізика та астрофізика»,
ОПП «Комп'ютерна фізика»
першого (бакалаврського) рівня вищої освіти
для здобувачів з спеціальності 104 Фізика та астрономія**

Назва дисципліни	Вступ до класичної електродинаміки
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	професор кафедри теоретичної фізики імені професора Івана Вакарчука, д.ф.-м.н., проф. Ровенчак Андрій Адамович
Контактна інформація викладачів	andrij.rovenchak@lnu.edu.ua ; andrij.rovenchak@gmail.com https://physics.lnu.edu.ua/employee/rovenchak-a-a
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	https://physics.lnu.edu.ua/course/vstup-do-klasichnoji-elektrodynamiky
Інформація про дисципліну	Дисципліна «Вступ до класичної електродинаміки» є вибірковою і розрахована на слухачів спеціальності «104 Фізика та астрономія» освітнього рівня бакалавра. Її викладають у V семестрі в обсязі 7 кредитів (за Європейською Кредитно-Трансферною Системою ECTS).
Коротка анотація дисципліни	Курс розроблено таким чином, щоб стисло подати основи класичної електродинаміки, з фокусом на теорію електромагнітного поля у вакуумі та теорію випромінювання.
Мета та цілі дисципліни	Метою і завданням навчальної дисципліни «Вступ до класичної електродинаміки» є формування в майбутнього фізика цілісної картини фізичних явищ, пов'язаних із електромагнітним полем. Це передбачає виклад основ теорії електромагнітних процесів у вакуумі, поглиблення знань, одержаних в загальному курсі «Електрика», вивчення теорії випромінювання.
Література для вивчення дисципліни	<p>Базова:</p> <ol style="list-style-type: none"> 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. L. L. Deraad, K. A. Milton, J. Schwinger, and Wu-yang Tsai, <i>Classical Electrodynamics</i>. CRC Press, 2019. 5. J. D. Jackson, <i>Classical Electrodynamics</i>. 3rd edition. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1999. <p>Допоміжна:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. М. В. Блажівська, О. І. Григорчак, Ю. С. Криницький та ін.; за ред. Ю. С. Криницького та А. А. Ровенчака, <i>Збірник задач з електродинаміки</i>. Львів: ЛНУ імені Івана Франка, 2015. 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. 3. В. В. Обуховський, <i>Збірка задач для контрольних робіт з електродинаміки</i>. Київ: Вид-во КНУ імені Тараса Шевченка, 2003. 4. A. Rovenchak, Yu. Krynytskyi. Radiation of the electromagnetic

	<p>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> <ol style="list-style-type: none"> 5. Eric Weisstein's World of Physics https://scienceworld.wolfram.com/physics/ 6. Wikipedia. https://www.wikipedia.org 7. The Feynman Lectures on Physics. Vol. II: The electromagnetic field. https://www.feynmanlectures.caltech.edu/II_toc.html
Тривалість курсу	один семестр
Обсяг курсу	210 годин, з яких 64 годин аудиторних занять, з них 32 годин лекцій, 32 годин практичних занять, та 146 години самостійної роботи.
Очікувані результати навчання	<p>Курс 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 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</p>

	<p>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 Максвелла; потенціали електромагнітного поля; умови випромінювання
Формат курсу	Очний
Теми	Див. Табл. 1 Схема курсу
Підсумковий контроль, форма	Залік у кінці V семестру.
Пререквізити	Для вивчення курсу студенти потребують знань із таких дисциплін: математичний аналіз, векторний аналіз, диференціальні рівняння, механіка, електрика.
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, загальноживані комп'ютерні програми й операційні системи, проєктор
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), 40% семестрової оцінки; максимальна кількість балів — 40; • контрольні роботи (на практичних заняттях): 60% семестрової оцінки; максимальна кількість балів — 60; <p>Підсумкова максимальна кількість балів — 100.</p> <p>Письмові роботи: Очікується, що студенти виконають дві контрольні роботи.</p> <p>Академічна доброчесність: Очікується, що контрольні роботи студентів будуть оригінальними. Списування, втручання в роботу інших студентів становлять, але не обмежують, приклади можливої академічної недоброчесності. Виявлення ознак академічної недоброчесності в письмовій роботі студента 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</p>

	<p>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. 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 числення. 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. Математичний апарат електродинаміки: застосування δ-функцій 10. 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 «Вступ до класичної електродинаміки»

Тижні	Тема занять (перелік питань)	Форма діяльності та обсяг годин	Термін виконання
1	1. Вступ. Короткий історичний нарис розвитку електродинаміки. Математичний апарат електродинаміки: елементи векторного числення.	Лекції — 2 год, практичні — 2 год, самостійна робота — 7 год	1 тиждень
2	2. 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.	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.	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