МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Львівський національний університет імені Івана Франка
Фізичний факультет
Кафедра фізики твердого тіла

Затверджено на засіданні
кафедри фізики твердого тіла
фізичного факультету
Львівського національного
університету імені Івана Франка
(протокол № 1 від 29 серпня 2025 р.)
Завідувач кафедри
Володимир КАПУСТЯНИК

Силабус з навчальної дисципліни
«Фізика фероїків», що викладається в межах
першого рівня вищої освіти для здобувачів
зі спеціальності 105 «Прикладна фізика та наноматеріали»

Львів 2025 р.

Назва курсу	**Фізика фероїків**
Адреса викладання курсу	вул. Драгоманова 50, 79005 Львів
Факультет та кафедра, за якою закріплена дисципліна	фізичний факультет, кафедра фізики твердого тіла
Галузь знань, шифр та назва спеціальності	10 Природничі науки / 105 Прикладна фізика та наноматеріали
Викладачі курсу	завідувач кафедри фізики твердого тіла, професор, д.ф.-м.н. Капустяник Володимир Богданович; доцент кафедри фізики твердого тіла, к.ф.-м.н. Еліяшевський Юрій Ігорович.
Контактна інформація викладачів	volodymyr.kapustianyk@lnu.edu.ua https://physics.lnu.edu.ua/employee/kapustyanyk-volodymyr-bohdanovych yuriy.eliyashevskyy@lnu.edu.ua https://physics.lnu.edu.ua/employee/eliyashevskyj-yurij-ihorovych
Консультації по курсу відбуваються	Консультації в день проведення лекцій та практичних занять (за попередньою домовленістю). Також можливі он-лайн консультації через електронну пошту.
Сторінка курсу	https://physics.lnu.edu.ua/course/fizyka-ferojikiv-prykladna-fizyka
Інформація про курс	Курс фізики фероїків є одним з найважливіших розділів фізики твердого тіла. В курсі розглядається теорія фазових переходів у фероїках, властивості найважливіших з них – сегнетоелектриків, антисегнетоелектриків, феромагнетиків і антиферомагнетиків, а також мультифероїків, у яких співіснують різні типи впорядкування. Значне місце в курсі відведене практичному застосуванню перелічених матеріалів у функціональній електроніці, комп'ютерній техніці, електротехніці і відновлюваній енергетиці. Набуті в рамках курсу знання є необхідною основою для успішної професійної діяльності випускників фізичного факультету.
Коротка анотація курсу	Дисципліна «Фізика фероїків» є нормативною дисципліною зі спеціальності 105 Прикладна фізика та наноматеріали для першого (бакалаврського) рівня вищої освіти, яка викладається в 7 семестрі в обсязі 3 кредитів (за Європейською Кредитно-Трансферною Системою ECTS). В курсі розглядається теорія фазових переходів у фероїках, фізичні властивості і перспективи практичного застосування сегнетоелектриків, антисегнетоелектриків, феромагнетиків і антиферомагнетиків, а також мультифероїків
Мета та цілі курсу	**Мета курсу:** ознайомити студентів з основними закономірностями та поняттями фізики фероїків, ознайомити з різними типами фазових переходів, методами дослідження прояву фазових переходів і просторової модуляції в оптичних і електрофізичних властивостях фероїків, надати інформацію про можливості практичного застосування фероїків, в тім числі, наноструктурованих. **Основні цілі курсу:** а) розглянути основні поняття і теоретичні основи фізики фероїків; б) розширити науковий світогляд студентів; в) виробити навички до самостійної роботи з вирішення як наукових, так і прикладних задач, пов'язаних із застосуванням фероїків.

Література для вивчення дисципліни	**Базова:** 1. Стадник В. Й., Капустяник В. Б. Фізика діелектриків. Навчальний посібник Львів, ЛНУ ім. І. Франка . – 2020. – 336 с. 2. В.Б. Капустяник. Фізика фероїків з органічним катіоном.-Л.: Вид. центр ЛНУ ім. І.Франка.-2006. 3. Капустяник В.Б., Семак С.І. Органічно-неорганічні мультифероїки – Beau Bassin: Scholars' Press, 2020. – 192 с. 4. М.О. Романюк. Кристалооптика.-К.:ІЗМН.-1997. 5. Поплавко Ю. М. П Фізика твердого тіла : підручник. В 2-х томах. / Ю. М. Поплавко. –Київ : КПІ ім.Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2017. – Том 1: Структура, квазічастинки, метали, магнетики. – 415 с.; Том 2: Діелектрики, напівпровідники, фазові переходи. – 379 с. 6. Ю.М. Поплавко. Фізика діелектриків.- К.: ВШ.-1980. 7. В. Капустяник, В. Мокрий. Прикладна спектроскопія.-Л.:Вид. центр ЛНУ ім. І.Франка.- 2009.-305 с. **Допоміжна:** 1. http://www.lbl.gov/abc/Contents.html#experiment **Інформаційні ресурси:** 1. Eric Weisstein's World of Physics http://scienceworld.wolfram.com/physics/ 2. Wikipedia. http://www.wikipedia.org 3. http://www.lbl.gov/abc/Contents.html#experiment
Тривалість курсу	1 семестр
Обсяг курсу	90 годин, з яких 64 годин аудиторних занять, з них 32 годин лекцій, 32 годин лабораторних занять, та 26 годин самостійної роботи
Очікувані результати навчання	В результаті вивчення цього курсу здобувач має оволодіти такими компетентностями: **Загальні компетентності (ЗК):** **ЗК 1.** Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях. **ЗК 2.** Знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності. **ЗК 3.** Здатність спілкуватися державною мовою як усно, так і письмово. **ЗК 6.** Здатність до проведення досліджень на відповідному рівні. **ЗК 7.** Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел. **ЗК 10.** Навички здійснення безпечної діяльності. **Спеціальні (фахові) компетентності спеціальності (СК):** **СК 1.** Здатність брати участь у плануванні та виконанні наукових та науково-технічних проектів. **СК 2.** Здатність брати участь у плануванні і виконанні експериментів та лабораторних досліджень властивостей фізичних систем, фізичних явищ і процесів, обробленні й презентації їхніх результатів. **СК 3.** Здатність брати участь у виготовленні експериментальних зразків, інших об'єктів дослідження. **СК 4.** Здатність брати участь у впровадженні результатів досліджень та розробок. **СК 6.** Здатність використовувати сучасні теоретичні уявлення в галузі фізики для аналізу фізичних систем.

	СК 9. Здатність виконувати експериментальні та теоретичні дослідження автономно та у складі колективу виконавців. **СК 10.** Здатність досліджувати та визначати проблему, ідентифікувати обмеження, зокрема ті, що пов'язані з проблемами сталого розвитку, безпеки та оцінками ризиків при використанні наноматеріалів. Після засвоєння навчальної дисципліни студенти мають продемонструвати такі **програмні результати навчання**: **ПРН 1.** Знати і розуміти сучасну фізику на рівні, достатньому для розв'язання складних спеціалізованих задач і практичних проблем прикладної фізики. **ПРН 3.** Застосовувати ефективні технології, інструменти та методи експериментального дослідження властивостей речовин і матеріалів, включаючи наноматеріали, при розв'язанні практичних проблем прикладної фізики. **ПРН 5.** Вибирати ефективні методи та інструментальні засоби проведення досліджень у галузі прикладної фізики. **ПРН 7.** Класифікувати, аналізувати та інтерпретувати науково технічну інформацію в галузі прикладної фізики **ПРН 10.** Планувати й організовувати результативну професійну діяльність індивідуально і як член команди при розробці та реалізації наукових і прикладних проєктів. **ПРН 12.** Розуміти закономірності розвитку прикладної фізики, її місце в розвитку техніки, технологій і суспільства, у тому числі в розв'язанні екологічних проблем. **ПРН 13.** Оцінювати фінансові, матеріальні та інші витрати, пов'язані з реалізацією проектів у сфері прикладної фізики, соціальні, екологічні та інші потенційні наслідки реалізації проектів. **ПРН 15.** Вміти планувати і виконувати лабораторні та експериментальні дослідження за допомогою вимірювальних приладів, оцінювати похибки проведення досліджень, робити висновки.
Ключові слова	Сегнетоелектрик, сегнетоеластик, феромагнетик, фазові переходи, термодинамічна теорія Ландау, фероїк, мультифероїк
Формат курсу	Очний: проведення лекцій, лабораторних робіт та консультації для кращого розуміння тем
Теми	Наведено у таблицях нижче
Підсумковий контроль, форма	Іспит у 7 семестрі
Пререквізити	Вивчення курсу «Фізики фероїків» ґрунтується на знаннях студентів, одержаних при вивченні загальних та спеціальних дисциплін: «Механіка», «Електрика і магнетизм», «Молекулярна фізика», «Оптика», «Атомна і ядерна фізика», «Квантова механіка», «Фізика твердого тіла», «Фізика і техніка низьких температур», «Програмування і математичне моделювання», «Математичний аналіз», а також низки дисциплін вільного вибору, в яких розглядаються проблеми, пов'язані з оптичною спектроскопією.
Навчальні методи та техніки, які будуть використовуватися під час викладання курсу	Використовуються такі методи навчання: а) словесні – лекція, пояснення, бесіда, інструктаж (вступний та поточний) під час виконання лабораторних робіт; б) наочні – ілюстрування лекційного матеріалу презентаціями, що включають в себе таблиці, схеми та графіки; в)

	лабораторні – виконання лабораторних робіт, що передбачає організацію навчальної роботи для отримання нових знань, перевірки певних наукових гіпотез на рівні досліджень, узагальнень та аналізу та формування вмінь і навичок інтерпретації результатів досліджень різноманітних об’єктів.
Необхідне обладнання	персональний комп’ютер, операційні системи (Windows, Linux), загальновживані комп'ютерні програми, проектор, оптичний поляризаційний мікроскоп, гелієвий кріостат A290 з регулятором температури “Utreks K43” вимірювач імітансу E7-20, RCL-метр Hioki IM 3536-01, електрометр Keithley 6517A, ємнісний дилатометр, атомно-силовий мікроскоп Solver P47-PRO, гелієвий рефрижератор із замкнутим циклом Advanced Research System, установка дослідження фотовольтаїчних властивостей на базі ксенонової лампи Scientech LH-E-300X та УФ-діодів Thorlabs 365 нм та 285 нм.
Критерії оцінювання (окремо для кожного виду навчальної діяльності)	Контроль засвоєння матеріалу включає поточний контроль (колоквіуми за двома змістовими модулями, 2×5 = 10 балів), оцінку відповідей та роботи на лабораторних заняттях (40 балів) — разом за семестр 50 балів — та іспит, що складається з теоретичної частини (20×2 = 40 балів) і перевірки практичних знань (10 балів) — разом 50 балів. Сумарна оцінка, таким чином, виставляється за 100-бальною шкалою. Критерії оцінювання лабораторних робіт: 5 б. – студент повністю виконав завдання і володіє матеріалом на високому рівні; 4 б. – студент повністю виконав завдання і володіє матеріалом на достатньо високому рівні; 3 б. – студент повністю виконав завдання і володіє матеріалом на задовільному рівні; 2 б. – студент частково виконав завдання і володіє матеріалом на задовільному рівні; 1 б. – студент частково виконав завдання і тільки частково володіє матеріалом; 0 б. – невиконання завдання. Колоквіум – максимально 5 балів: 5 б. студент повністю володіє матеріалом; 4 б. студент достатньо добре володіє матеріалом; 3б. студент достатньо володіє матеріалом; 1-2 б. студент частково володіє матеріалом; 0 – б. студент не володіє матеріалом. Додаткові 5 балів студент може отримати за публікацію статті або особисту участь у науковій конференції за тематикою фізики фероїків за умови, що загальне число набраних балів не перевищуватиме 100 балів. **Академічна доброчесність** здобувачами вищої освіти передбачає самостійне виконання навчальних завдань, завдань поточного та підсумкового контролю результатів навчання. Списування, втручання в роботу інших студентів становлять, але не обмежують, приклади можливої академічної недоброчесності. Виявлення ознак академічної недоброчесності в письмовій чи усній роботі студента є

	підставою для її незарахування викладачем, незалежно від масштабів обману.
Опитування	Анкету-оцінку з метою оцінювання якості курсу буде надано по завершенню курсу.

Таблиця 1

Схема курсу **«Фізика фероїків»**

Тиждень	Назва теми	Форма діяльності та обсяг годин	Термін виконання
1, 2	Вступ. **Тема 1. Основні типи фазових переходів** 1. Класифікація фероїків. 2. Основні типи фазових переходів у фероїках. 3. Власні і невласні фазові переходи. 4. Фазові переходи першого і другого роду. 5. Фазові переходи типу діелектрик-метал.	лекції – 4 год, самостійна робота – 2 год.	2 тижні
3-6	**Тема 2. Термодинамічна теорія фазових переходів** 1. Теорія Ландау. 2. Термодинамічна теорія сегнетоелектричних фазових переходів. 3. Феноменологічний опис фазових переходів в сегнетоеластиках. 4. Методи дослідження доменної структури у фероїках.	лекції – 8 год, самостійна робота – 4 год.	4 тижні
7, 8	**Тема 3. Природа неспівмірних фаз у фероїках** 1. Кристали з неспівмірною фазою. 2. Кристалографічний опис неспівмірних структур. 3. Вектор неспівмірної модуляції. 4. Ефект термічної пам’яті.	лекції – 4 год, самостійна робота – 2 год.	2 тижні
9-16	**Тема 4. Основні напрями використання фероїків і споріднених матеріалів** 1. Застосування сегнетоелектриків і споріднених матеріалів. 2. П’єзоелектричний ефект. Сегнетоелектрична п’єзокераміка. 3. Фотовольтаїчний ефект у сегнетоелектриках. 4. Найважливіші характеристики феро- і антиферомагнетиків. Основні напрями застосування феромагнітних матеріалів. 5. Технологія отримання і перспективи застосування наноструктурованих фероїків. 6. Мультифероїки. Фероїки вищого порядку. 7. Магнітоелектричні взаємодії в магнітних мультифероїках.	лекції – 16 год, самостійна робота – 5 год.	8 тижнів

Таблиця 2

Теми лабораторних занять

Тиждень	Назва теми	Форма діяльності та обсяг годин	Термін виконання
1	Вступне заняття.	лаборатор. заняття – 2 год	1 тиждень
2-4	Вивчення доменної структури фероїків оптико-поляризаційним методом.	лаборатор. заняття – 6 год, самостійна робота – 3 год.	3 тижні
5, 6	Вивчення доменної структури фероїків методом атомно-силової мікроскопії.	лаборатор. заняття – 4 год, самостійна робота – 2 год.	2 тижні
7, 8	Дослідження поведінки діелектричної проникності кристалів в околі сегнетоелектричного фазового переходу	лаборатор. заняття – 4 год, самостійна робота – 2 год.	2 тижні
9, 10	Дослідження п’єзоелектричного ефекту в п’єзокераміках	лаборатор. заняття – 4 год, самостійна робота – 2 год.	2 тижні
11, 12	Дилатометричні дослідження фазових переходів у кристалах	лаборатор. заняття – 4 год, самостійна робота – 2 год.	2 тижні
13-15	Дослідження фотовольтаїчного ефекту в сегнетоелектриках	лаборатор. заняття – 6 год, самостійна робота – 2 год.	3 тижні
16	Заключне заняття	лаборатор. заняття – 2 год	1 тиждень