


**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 2024 р.)  
Завідувач кафедри  
  
Володимир КАПУСТЯНИК

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

Львів 2024 р.

<b>Назва курсу</b>	<b>Фізика фероїків</b>
<b>Адреса викладання курсу</b>	вул. Драгоманова 50, 79005 Львів
<b>Факультет та кафедра, за якою закріплена дисципліна</b>	фізичний факультет, кафедра фізики твердого тіла
<b>Галузь знань, шифр та назва спеціальності</b>	10 Природничі науки / 105 Прикладна фізика та наноматеріали
<b>Викладачі курсу</b>	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.
<b>Контактна інформація викладачів</b>	<a href="mailto:volodymyr.kapustianyk@lnu.edu.ua">volodymyr.kapustianyk@lnu.edu.ua</a> <a href="https://physics.lnu.edu.ua/employee/kapustyanik-volodymyr-bohdanovych">https://physics.lnu.edu.ua/employee/kapustyanik-volodymyr-bohdanovych</a> <a href="mailto:yuriy.eliyashevskyy@lnu.edu.ua">yuriy.eliyashevskyy@lnu.edu.ua</a> <a href="https://physics.lnu.edu.ua/employee/eliyashevskyy-yuriy-igorovych">https://physics.lnu.edu.ua/employee/eliyashevskyy-yuriy-igorovych</a>
<b>Консультації по курсу відбуваються</b>	Консультації в день проведення лекцій та практичних занять (за попередньою домовленістю). Також можливі он-лайн консультації через електронну пошту.
<b>Сторінка курсу</b>	<a href="https://physics.lnu.edu.ua/course/fizyka-ferojikiv-prykladna-fizyka">https://physics.lnu.edu.ua/course/fizyka-ferojikiv-prykladna-fizyka</a>
<b>Інформація про курс</b>	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.
<b>Коротка анотація курсу</b>	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 3,5 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
<b>Мета та цілі курсу</b>	<b>Мета курсу:</b> 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. <b>Основні цілі курсу:</b> 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.

<p><b>Література для вивчення дисципліни</b></p>	<p><b>Базова:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Стадник В. Й., Капустяник В. Б. Фізика діелектриків. Навчальний посібник Львів, ЛНУ ім. І. Франка . – 2020. – 336 с.</li> <li>2. В.Б. Капустяник. Фізика фероїків з органічним катіоном.-Л.: Вид. центр ЛНУ ім. І.Франка.-2006.</li> <li>3. Капустяник В.Б., Семак С.І. Органічно-неорганічні мультифероїки – Beau Bassin: Scholars’ Press, 2020. – 192 с.</li> <li>4. М.О. Романюк. Кристалооптика.-К.:ІЗМН.-1997.</li> <li>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, магнетика. – 415 с.; Том 2: Діелектрики, напівпровідники, фазові переходи. – 379 с.</li> <li>6. Ю.М. Поплавко. Фізика діелектриків.- К.: ВШ.-1980.</li> <li>7. В. Капустяник, В. Мокрий. Прикладна спектроскопія.-Л.:Вид. центр ЛНУ ім. І.Франка.- 2009.-305 с.</li> </ol> <p><b>Допоміжна:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. <a href="http://www.lbl.gov/abc/Contents.html#experiment">http://www.lbl.gov/abc/Contents.html#experiment</a></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> <li>3. <a href="http://www.lbl.gov/abc/Contents.html#experiment">http://www.lbl.gov/abc/Contents.html#experiment</a></li> </ol>
<p><b>Тривалість курсу</b></p>	<p>1 семестр</p>
<p><b>Обсяг курсу</b></p>	<p>105 годин, з яких 64 годин аудиторних занять, з них 32 годин лекцій, 32 годин лабораторних занять, та 41 години самостійної роботи</p>
<p><b>Очікувані результати навчання</b></p>	<p>В результаті вивчення цього курсу здобувач має оволодіти такими компетентностями:</p> <p><b>Загальні компетентності (ЗК):</b></p> <p><b>ЗК 1.</b> Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.</p> <p><b>ЗК 2.</b> Знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності.</p> <p><b>ЗК 3.</b> Здатність спілкуватися державною мовою як усно, так і письмово.</p> <p><b>ЗК 6.</b> Здатність до проведення досліджень на відповідному рівні.</p> <p><b>ЗК 7.</b> Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел.</p> <p><b>ЗК 10.</b> Навички здійснення безпечної діяльності.</p> <p><b>Спеціальні (фахові) компетентності спеціальності (СК):</b></p> <p><b>СК 1.</b> Здатність брати участь у плануванні та виконанні наукових та науково-технічних проектів.</p> <p><b>СК 2.</b> Здатність брати участь у плануванні і виконанні експериментів та лабораторних досліджень властивостей фізичних систем, фізичних явищ і процесів, обробленні й презентації їхніх результатів.</p> <p><b>СК 3.</b> Здатність брати участь у виготовленні експериментальних зразків, інших об’єктів дослідження.</p> <p><b>СК 4.</b> Здатність брати участь у впровадженні результатів досліджень та розробок.</p> <p><b>СК 6.</b> Здатність використовувати сучасні теоретичні уявлення в галузі фізики для аналізу фізичних систем.</p>

	<p><b>СК 9.</b> Здатність виконувати експериментальні та теоретичні дослідження автономно та у складі колективу виконавців.</p> <p><b>СК 10.</b> Здатність досліджувати та визначати проблему, ідентифікувати обмеження, зокрема ті, що пов'язані з проблемами сталого розвитку, безпеки та оцінками ризиків при використанні наноматеріалів.</p> <p>Після засвоєння навчальної дисципліни студенти мають продемонструвати такі <b>програмні результати навчання</b>:</p> <p><b>ПРН 1.</b> Знати і розуміти сучасну фізику на рівні, достатньому для розв'язання складних спеціалізованих задач і практичних проблем прикладної фізики.</p> <p><b>ПРН 3.</b> Застосовувати ефективні технології, інструменти та методи експериментального дослідження властивостей речовин і матеріалів, включаючи наноматеріали, при розв'язанні практичних проблем прикладної фізики.</p> <p><b>ПРН 5.</b> Вибирати ефективні методи та інструментальні засоби проведення досліджень у галузі прикладної фізики.</p> <p><b>ПРН 7.</b> Класифікувати, аналізувати та інтерпретувати науково технічну інформацію в галузі прикладної фізики</p> <p><b>ПРН 10.</b> Планувати й організовувати результативну професійну діяльність індивідуально і як член команди при розробці та реалізації наукових і прикладних проєктів.</p> <p><b>ПРН 12.</b> Розуміти закономірності розвитку прикладної фізики, її місце в розвитку техніки, технологій і суспільства, у тому числі в розв'язанні екологічних проблем.</p> <p><b>ПРН 13.</b> Оцінювати фінансові, матеріальні та інші витрати, пов'язані з реалізацією проєктів у сфері прикладної фізики, соціальні, екологічні та інші потенційні наслідки реалізації проєктів.</p> <p><b>ПРН 15.</b> Вміти планувати і виконувати лабораторні та експериментальні дослідження за допомогою вимірювальних приладів, оцінювати похибки проведення досліджень, робити висновки.</p>
<b>Ключові слова</b>	Сегнетоелектрик, сегнетоеластик, феромагнетик, фазові переходи, термодинамічна теорія Ландау, фероїк, мультифероїк
<b>Формат курсу</b>	Очний: проведення лекцій, лабораторних робіт та консультації для кращого розуміння тем
<b>Теми</b>	Наведено у таблицях нижче
<b>Підсумковий контроль, форма</b>	Іспит у 7 семестрі
<b>Пререквізити</b>	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», «Фізика напівпровідників», «Обчислювальна техніка і програмування», «Математичний аналіз», «Теоретична механіка», а також низки дисциплін вільного вибору, в яких розглядаються проблеми, пов'язані з оптичною спектроскопією.
<b>Навчальні методи та техніки, які будуть використовуватися під час викладання курсу</b>	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

	<p>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.</p>
<b>Необхідне обладнання</b>	<p>персональний комп'ютер, операційні системи (Windows, Linux), загальнонавчальні 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, емнісний 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.</p>
<b>Критерії оцінювання (окремо для кожного виду навчальної діяльності)</b>	<p>Контроль засвоєння матеріалу включає поточний контроль (колоквиуми за двома змістовими модулями, <math>2 \times 5 = 10</math> балів), оцінку відповідей та роботи на лабораторних заняттях (40 балів) — разом за семестр 50 балів — та іспит, що складається з теоретичної частини (<math>20 \times 2 = 40</math> балів) і перевірки практичних знань (10 балів) — разом 50 балів. Сумарна оцінка, таким чином, виставляється за 100-бальною шкалою.</p> <p>Критерії оцінювання лабораторних робіт:</p> <p>5 б. – студент повністю виконав завдання і володіє матеріалом на високому рівні;</p> <p>4 б. – студент повністю виконав завдання і володіє матеріалом на достатньо високому рівні;</p> <p>3 б. – студент повністю виконав завдання і володіє матеріалом на задовільному рівні;</p> <p>2 б. – студент частково виконав завдання і володіє матеріалом на задовільному рівні;</p> <p>1 б. – студент частково виконав завдання і тільки частково володіє матеріалом;</p> <p>0 б. – невиконання завдання.</p> <p>Колоквиум – максимально 5 балів:</p> <p>5 б. студент повністю володіє матеріалом;</p> <p>4 б. студент достатньо добре володіє матеріалом;</p> <p>3 б. студент достатньо володіє матеріалом;</p> <p>1-2 б. студент частково володіє матеріалом;</p> <p>0 – б. студент не володіє матеріалом.</p> <p>Критерії оцінювання теоретичної частини іспиту:</p> <p>19-20 б. студент повністю володіє матеріалом;</p> <p>12-18 б. студент достатньо добре володіє матеріалом;</p> <p>7-11 б. студент достатньо володіє матеріалом;</p> <p>1-6 б. студент частково володіє матеріалом;</p> <p>0 – б. студент не володіє матеріалом.</p> <p>Критерії оцінювання практичної частини іспиту:</p> <p>10 б. – студент повністю виконав завдання і володіє матеріалом на високому рівні;</p>

	<p>7-9 б. – студент повністю виконав завдання і володіє матеріалом на достатньо високому рівні;  5-6 б. – студент повністю виконав завдання і володіє матеріалом на задовільному рівні;  3-4 б. – студент частково виконав завдання і володіє матеріалом на задовільному рівні;  1-2 б. – студент частково виконав завдання і тільки частково володіє матеріалом;  0 б. – невиконання завдання.</p> <p>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.</p> <p><b>Академічна доброчесність</b> 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.</p>
<b>Опитування</b>	Анкету-оцінку з метою оцінювання якості курсу буде надано по завершенню курсу.

## Схема курсу «Фізика фероїків»

Тиждень	Назва теми	Форма діяльності та обсяг годин	Термін виконання
1, 2	Вступ. <b>Тема 1. Основні типи фазових переходів</b> 1. Класифікація фероїків. 2. Основні типи фазових переходів у фероїках. 3. Власні і невластні фазові переходи. 4. Фазові переходи першого і другого роду. 5. Фазові переходи типу діелектрик-метал.	лекції – 4 год, самостійна робота – 5 год.	2 тижні
3-6	<b>Тема 2. Термодинамічна теорія фазових переходів</b> 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 – 5 год.	4 тижні
7, 8	<b>Тема 3. Природа неспівмірних фаз у фероїках</b> 1. Кристали з неспівмірною фазою. 2. Кристалографічний опис неспівмірних структур. 3. Вектор неспівмірної модуляції. 4. Ефект термічної пам'яті.	лекції – 4 год, самостійна робота – 5 год.	2 тижні
9-16	<b>Тема 4. Основні напрями використання фероїків і споріднених матеріалів</b> 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 – 10 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 – 3 год.	2 тижні
7, 8	Дослідження поведінки діелектричної проникності кристалів в околі сегнетоелектричного фазового переходу	лаборатор. заняття – 4 год, самостійна робота – 3 год.	2 тижні
9, 10	Дослідження п'єзоелектричного ефекту в п'єзокераміках	лаборатор. заняття – 4 год, самостійна робота – 3 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