

**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 «Прикладні аспекти фізики діелектриків»,**  
**що викладається в межах**  
**ОПШ Прикладна фізика та наноматеріали**  
**Другого (магістерського) рівня вищої освіти для здобувачів із**  
**спеціальності Е6 «Прикладна фізика та наноматеріали»**

Львів 2025 р.

**Силабус курсу «ПРИКЛАДНІ АСПЕКТИ ФІЗИКИ ДІЕЛЕКТРИКІВ»  
2025–2026 н.р.**

<b>Назва курсу</b>	<b>Прикладні аспекти фізики діелектриків</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>	Е Природничі науки, математика та статистика Е6 Прикладна фізика та наноматеріали
<b>Викладачі курсу</b>	доцент кафедри фізики твердого тіла, к.ф.-м.н Юрій Ігорович Еліяшевський
<b>Контактна інформація викладачів</b>	<a href="mailto:yuriy.eliyashevskyy@lnu.edu.ua">yuriy.eliyashevskyy@lnu.edu.ua</a> <a href="https://physics.lnu.edu.ua/employee/eliyashevskiy-yurij-ihorovych">https://physics.lnu.edu.ua/employee/eliyashevskiy-yurij-ihorovych</a>
<b>Консультації по курсу відбуваються</b>	Консультації в день проведення лекцій та лабораторних занять (за попередньою домовленістю). Також можливі он-лайн консультації через електронну пошту та на платформі Microsoft Teams. Для погодження часу он-лайн консультацій слід написати на електронну пошту викладача або в чат Microsoft Teams
<b>Сторінка курсу</b>	<a href="https://physics.lnu.edu.ua/course/prykladni-aspekty-fizyky-dielektrykiv-spetsialnist-prykladna-fizyka-i-nanomaterialy">https://physics.lnu.edu.ua/course/prykladni-aspekty-fizyky-dielektrykiv-spetsialnist-prykladna-fizyka-i-nanomaterialy</a>
<b>Інформація про курс</b>	Дисципліна «Прикладні аспекти фізики діелектриків» є вибірковою дисципліною зі спеціальності Е6 Прикладна фізика та наноматеріали для ОПП Прикладна фізика та наноматеріали для другого (магістерського) рівня вищої освіти, яка викладається в 1 семестрі в обсязі 3,0 кредити (за Європейською Кредитно-Трансферною Системою ECTS). Зміст та матеріал навчальної дисципліни стосується фізичних властивостей діелектриків, в тому числі наноструктурованих а також аспектів їх прикладного застосування в рамках яких можлива подальша професійна та наукова кар'єра у галузі фізики діелектриків та фізики твердого тіла.
<b>Коротка анотація курсу</b>	Курс розроблено таким чином, щоб надати учасникам як теоретичні так і практичні знання, уміння, навички, загальні та фахові компетентності для розв'язання проблем в галузі фізики діелектриків. Тому у курсі представлені як огляд сучасних методів дослідження діелектричних матеріалів з детальним оглядом теоретичних квантово-механічних підходів для їх розуміння, а також з прикладними аспектами використання діелектриків у науці та техніці.
<b>Мета та цілі курсу</b>	Метою вивчення вибіркової дисципліни “Прикладні аспекти фізики діелектриків” є ознайомлення студентів з основними закономірностями та поняттями фізики діелектриків, ознайомити з методами дослідження діелектричної дисперсії та прояву фазових переходів і просторової модуляції в оптико-спектральних і електрофізичних властивостях діелектриків, що відносяться до класу фероїків, надати інформацію про можливість практичного застосування діелектриків, в тім числі, наноструктурованих.
<b>Література для вивчення дисципліни</b>	<b>Базова:</b> 1. В.Й. Стадник В.Б. Капустяник Фізика діелектриків. Навчальний посібник Львів, ЛНУ імені Івана Франка . – 2015. – 336 с.

	<p>2. Ю.М. Поплавко Фізика діелектриків : підручник; за заг. ред. акад. НАН України Ю. І. Якименка. – К. : НТУУ «КПІ». –2015. – 572 с.</p> <p>3. В.Б.Капустяник. Фізика фероїків з органічним катіоном.-Л.: Вид. центр ЛНУ ім.І.Франка.-2006. – 291 с.</p> <p>4. Charlotte Murray Ferroelectric Materials: Science and Technology States Academic Press. – 2022. – 249 p.</p> <p><b>Допоміжна:</b></p> <p>1. Kazuo Nakamoto Infrared and Raman Spectra of Inorganic and Coordination Compounds, Part B: Applications in Coordination, Organometallic, and Bioinorganic Chemistry, 6th Edition Wiley. – 2009. – 424 p.</p> <p>2. Ashim Kumar Bain, Prem Chand Ferroelectrics: Principles and Applications Wiley. –2017. –328 p.</p> <p><b>Інформаційні ресурси:</b></p> <p><a href="http://www.wikipedia.org">http://www.wikipedia.org</a>  <a href="https://scienceworld.wolfram.com/physics/">https://scienceworld.wolfram.com/physics//</a>  <a href="https://www.doitpoms.ac.uk/tlplib/ferroelectrics/index.php">https://www.doitpoms.ac.uk/tlplib/ferroelectrics/index.php</a></p>
<b>Тривалість курсу</b>	один семестр
	90 годин, з яких 32 годин аудиторних занять, з них 16 годин лекцій, 16 годин лабораторних занять, та 58 години самостійної роботи
<b>Очікувані результати навчання</b>	<p>В результаті вивчення цього курсу здобувач повинен <b>знати:</b> основні механізми поляризації діелектриків, сегнетоелектричні властивості фероїків, електрофізичні явища та ефекти, пов'язані із впливом на діелектрики зовнішнього електричного поля та їх практичне використання в сучасному приладобудуванні</p> <p><b>вміти:</b> використовувати отримані знання при розв'язанні завдань теоретичного та прикладного характеру, проводити вимірювання та аналіз електричних властивостей діелектриків в широкому частотному та температурному діапазонах, здійснювати розробку приладів для сучасної електроніки.</p>
<b>Ключові слова</b>	Діелектрики, кристали, поляризація, сегнетоелектрики, дисперсія, п'єзоелектричний ефект, спектроскопія, піроелектрики.
<b>Формат курсу</b>	Очний
	проведення лекцій, лабораторних робіт та консультації для кращого розуміння тем
<b>Теми</b>	Наведено у табл.1 і табл. 2
<b>Підсумковий контроль, форма</b>	залік в кінці семестру
<b>Пререквізити</b>	Для вивчення курсу студенти повинні знати основні закони та поняття з курсів загальної фізики, квантової механіки, фізики твердого тіла; вміти застосовувати набуті раніше знання з курсів математичного аналізу, загальної фізики, квантової механіки, термодинаміки, статистичної фізики, володіти навиками пошуку та опрацювання спеціалізованої літератури, побудови та аналізу графічних залежностей.

<p><b>Навчальні методи та техніки, які будуть використовуватися під час викладання курсу</b></p>	<p>Використовуються такі методи навчання:</p> <p>а) <i>словесні</i> – лекція, пояснення, бесіда, інструктаж (вступний та поточний) під час виконання лабораторних робіт;</p> <p>б) <i>наочні</i> – ілюстрування лекційного матеріалу презентаціями, що включають в себе таблиці, схеми та графіки;</p> <p>в) <i>лабораторні</i> – 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.</p>
<p><b>Необхідне обладнання</b></p>	<p>персональний комп'ютер, операційні системи (Windows), електрометр, вимірювач імітансу, гелієвий та азотний кріостати, система регуляції температури «Утрекс», програмне забезпечення для обробки та візуалізації результатів вимірювань, посудини для зберігання кріорідин, зріджені азот та гелій, проектор</p>
<p><b>Критерії оцінювання (окремо для кожного виду навчальної діяльності)</b></p>	<p>Оцінювання проводиться за 100-бальною шкалою. Бали нараховуються за наступним співвідношенням:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• лабораторні: 50 % семестрової оцінки; максимальна кількість балів 50 (лабораторні роботи № 1-3, 5-7, по 6 балів, № 4, 8 – 7 балів);</li> <li>• контрольні заміри (модулі) теоретичного матеріалу: 50 % семестрової оцінки; максимальна кількість балів 50 (перший модуль 15 балів, другий – 35 балів);</li> </ul> <p>Підсумкова максимальна кількість балів 100.</p> <p><b>Академічна доброчесність:</b> очікується, що роботи студентів будуть їхніми оригінальними дослідженнями чи міркуваннями. Списування, втручання в роботу інших студентів, відсутність посилань на використані джерела становлять, але не обмежують, приклади можливої академічної не доброчесності. Виявлення ознак академічної не доброчесності в роботах студента є підставою для її не зарахування викладачем, незалежно від масштабів плагіату чи обману. <b>Відвідування занять</b> є важливою складовою навчання. Очікується, що всі студенти відвідають усі лекції і лабораторні 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 робіт, передбачених курсом. <b>Література:</b> уся література, яку студенти не зможуть знайти самостійно буде надана викладачем виключно в освітніх цілях без права передачі її третім особам. Студенти заохочуються до використання також й іншої літератури та джерел, яких немає серед рекомендованих.</p> <p><b>Політика встановлення балів.</b> Враховуються бали набрані за виконання та захист лабораторних робіт і самостійної роботи. При цьому враховується присутність на заняттях та активність студента під час виконання лабораторної роботи; списування та плагіат; користування мобільними пристроями в цілях не пов'язаних з навчанням; несвочасне виконання поставленого завдання.</p> <p>Жодні форми порушення академічної доброчесності не толеруються.</p>
<p><b>Питання для перевірки теоретичного матеріалу курсу</b></p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Електрична поляризація діелектриків. Електричний момент.</li> <li>2. Макроскопічний опис електричної поляризації. Вектори електричного поля, індукції та поляризованості.</li> </ol>

	<ol style="list-style-type: none"> <li>3. Тензор діелектричної проникності.</li> <li>4. Механізми пружної електричної поляризації.</li> <li>5. Поляризація електронного зміщення.</li> <li>6. Поляризація іонного зміщення.</li> <li>7. Теплова електрична поляризація. Механізми її виникнення.</li> <li>8. Теплова орієнтаційна поляризація.</li> <li>9. Теплова іонна поляризація.</li> <li>10. Об'ємнозарядна та високовольтна поляризації.</li> <li>11. Механізми виникнення міграційної (об'ємозарядної) поляризації.</li> <li>12. П'єзоелектрична поляризація та електрострикція.</li> <li>13. Піроелектрична поляризація та фотополяризація.</li> <li>14. Залишкова поляризація. Електрети.</li> <li>15. Поляризація сегнетоелектриків. Сегнетоелектричний фазовий перехід.</li> <li>16. Петля сегнетоелектричного гістерезису як типовий прояв сегнетоелектричної фази.</li> <li>17. Електропровідність діелектричних кристалів.</li> <li>18. Механізми провідності у діелектриках.</li> <li>19. Поняття діелектричної дисперсії.</li> <li>20. Температурно-частотні залежності діелектричних параметрів в діелектриках з тепловими механізмами поляризації.</li> <li>21. Теорія Дебая для діелектричних релаксаційних процесів.</li> <li>22. Діаграми Коула-Коула.</li> <li>23. Аналіз діелектричної дисперсії при наявності кількох релаксаторів.</li> <li>24. Основні типи фазових переходів у фероїках.</li> <li>25. Теорія Ландау.</li> <li>26. Феноменологічний опис фазових переходів у сегнетоеластиках.</li> <li>27. Доменна структура у фероїках.</li> <li>28. Особливості кристалів з неспівмірною фазою.</li> </ol>
<p><b>Опитування</b></p>	<p>Анкету-оцінку з метою оцінювання якості курсу буде надано по завершенню курсу.</p>

## Схема курсу «Прикладні аспекти фізики діелектриків»

Тиждень	Тема	Форма діяльності та обсяг годин	Література	Термін виконання
1,2	<b>Тема 1. Поляризація діелектриків.</b> Електрична поляризація діелектриків. Електричний момент. Макроскопічний опис електричної поляризації. Вектори електричного поля, індукції та поляризованості. Діелектрична сприйнятливність. Тензор діелектричної проникності. <b>С.Р.</b> Вивчення матеріалу лекції. Зв'язок між величинами, що описують електричну поляризацію.	Лекції – 2 год, самостійна робота – 4 год	Базова: 1, 2; Допоміжна: 1	2 тижні
3,4,5	<b>Тема 2. Механізми електричної поляризації діелектриків.</b> Механізми пружної електричної поляризації. Поляризація електронного зміщення. Поляризація іонного зміщення. Теплова електрична поляризація. Механізми її виникнення. Теплова орієнтаційна поляризація. Теплова іонна поляризація. Об'ємозарядна та висковольтна поляризації. Механізми виникнення міграційної (об'ємозарядної) поляризації. <b>С.Р.</b> Вивчення матеріалу лекції. Вплив дефектів на поляризацію діелектриків.	Лекції – 3 год, самостійна робота – 5 год	Базова: 1, 2, 3; Допоміжна: 1,2	2 тижні
6,7	<b>Тема 3. Поляризація діелектриків під дією неелектричних чинників.</b> П'єзоелектрична поляризація Прямий та обернений п'єзоелектричні ефекти. Електрострикція. Піроелектрична поляризація та фотополяризація. Залишкова поляризація. Електрети. <b>С.Р.</b> Вивчення матеріалу лекції. Термостимульована деполіаризація діелектриків.	Лекції – 2 год, самостійна робота – 4 год	Базова: 1,3 Допоміжна: 2	2 тижні
8,9,10	<b>Тема 4. Сегнетоелектричні діелектрики.</b> Сегнетоелектричний стан у поляризованих діелектриках. Поляризація сегнетоелектриків. Сегнетоелектричний фазовий перехід. Спонтанна	Лекції – 3 год, самостійна робота – 5 год	Базова: 2, 4; Допоміжна: 2	3 тижні

	<p>поляризація і доменна структура в сегнетоелектриках. Петля сегнетоелектричного гістерезису як типовий прояв сегнетоелектричної фази. Неспівмірна фаза. Внесок доменної динаміки в діелектричну проникність. Феноменологічний опис фазових переходів у сегнетоелектриках. Теорія Ландау. Сегнетоеластичності і антисегнетоелектрики. Технологія отримання і перспективи застосування наноструктурованих сегнетоелектриків і споріднених матеріалів.</p> <p><b>С.Р.</b> Вивчення матеріалу лекції. Використання сегнетоелектриків для створення комірок пам'яті.</p>			
11,12	<p><b>Тема 5. Електропровідність діелектриків.</b> Електропровідність діелектричних кристалів. Іонна електропровідність. Протонна провідність. Суперіоніки. Електронна провідність. Поляронна (стрибкова) провідність. Особливості електропровідності в сегнетоелектриках. Пробій у твердих діелектриках. Електродеградація та радіаційна стійкість діелектриків. Застосування протонних провідників та суперіоніків.</p> <p><b>С.Р.</b> Вивчення матеріалу лекції. Вплив дефектів на електропровідність діелектричних кристалів.</p>	<p>Лекції – 2 год, самостійна робота – 4 год</p>	<p>Базова: 1, 2,3 Допоміжна: 2</p>	2 тижні
13,14	<p><b>Тема 6. Діелектричні втрати та діелектрична спектроскопія.</b> Поняття тангенса кута діелектричних втрат. Фізичні механізми діелектричних втрат. Діелектричні втрати при пружній та тепловій поляризаціях. Частотні та температурні залежності діелектричних втрат. Дисипація електричної енергії в діелектрику. Комплексна діелектрична проникність. Діелектрична спектроскопія. Діелектричні параметри неоднорідних діелектриків.</p> <p><b>С.Р.</b> Вивчення матеріалу лекції. Зв'язок провідності діелектрика з тангенсом діелектричних втрат.</p>	<p>Лекції – 2 год, самостійна робота – 5 год</p>	<p>Базова 1, 2, 3 Допоміжна: 2</p>	2 тижні

15,16	<p><b>Тема 7. Діелектрична дисперсія. Діелектричні релаксаційні процеси.</b></p> <p>Резонансна та релаксаційна дисперсія. Частотний вплив на резонансний та релаксаційний спектри. Теорія Дебая для діелектричних релаксаційних процесів. Діаграми Коула-Коула. Аналіз діелектричної дисперсії при наявності кількох релаксаторів. Діелектрична дисперсія в сегнетоелектриках.</p> <p><b>С.Р.</b> Вивчення матеріалу лекції. Діелектрична дисперсія для релаксаторів з близькими релаксаційними частотами.</p>	Лекції – 2 год, самостійна робота – 4 год	Базова: 1, 2, 3 Допоміжна: 2	2 тижні
-------	--	--	---------------------------------	---------

Таблиця 2

### Теми лабораторних занять

Тиждень	Назва теми	Форма діяльності та обсяг годин	Термін виконання
1,2	Приготування зразків для діелектричних вимірювань.	лаборатор. заняття – 2 год, самостійна робота – 1 год	2 тижні
3,4	Дослідження протонної провідності у кристалічному діелектрику	лаборатор. заняття – 2 год, самостійна робота – 3 год	2 тижні
5,6	Вивчення доменної структури оптико-поляризаційним методом	лаборатор. заняття – 2 год, самостійна робота – 4 год	2 тижні
7,8	Дослідження поведінки діелектричної проникності в області сегнетоелектричного фазового переходу.	лаборатор. заняття – 2 год, самостійна робота – 4 год	2 тижні
9,10	Дослідження петлі сегнетоелектричного гістерезису.	лаборатор. заняття – 2 год, самостійна робота – 4 год	2 тижні
11,12	Вивчення п'єзоелектричного резонансу у сегнетоелектричній кераміці.	лаборатор. заняття – 2 год, самостійна робота – 4 год	2 тижні
13,14	Дослідження діелектричних релаксаційних процесів у фероїках.	лаборатор. заняття – 2 год, самостійна робота – 4 год	2 тижні
15,16	Аналіз діелектричних спектрів фероїків в частотній області 100 Гц – 1 МГц	лаборатор. заняття – 2 год, самостійна робота – 4 год	2 тижні