

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

Затверджено

На засіданні кафедри загальної фізики
фізичного факультету
Львівського національного університету
імені Івана Франка
(протокол № 1 від 28.08.2024 р.)

Завідувач кафедри



проф. Стадник В.Й.

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

Львів 2024

Назва дисципліни	Фізика діелектричних кристалів
Адреса викладання дисципліни	вул. Драгоманова, 19, 79005, м. Львів
Факультет та кафедра, за якою закріплена дисципліна	фізичний факультет, кафедра загальної фізики
Галузь знань, шифр та назва спеціальності	Галузь знань – 10 Природничі науки Спеціальність – 105 Прикладна фізика та наноматеріали
Викладач дисципліни	Лектор: Стадник Василь Йосифович, професор кафедри загальної фізики, д.ф.-м.н.; лабораторні заняття проводять: Стадник В.Й., Щепанський П.А. доцент кафедри загальної фізики, к.ф.-м.н.
Контактна інформація викладача	vasyl.stadnyk@lnu.edu.ua ; pavlo.shchepanskyi@lnu.edu.ua https://physics.lnu.edu.ua/employee/schepanskyj-p-a
Консультації з дисципліни відбуваються	Консультації в день проведення лекцій та лабораторних занять (за попередньою домовленістю). Також можливі консультації через електронну пошту або он-лайн засобами Microsoft Teams, Zoom.
Сторінка дисципліни	https://physics.lnu.edu.ua/course/fizyka-dielektrychnykh-krystaliv-105-prykladna-fizyka-ta-nanomaterialy
Інформація про дисципліну	Дисципліна «Фізика діелектричних кристалів» є нормативною дисципліною для підготовки бакалавра за спеціальністю 105 Прикладна фізика та наноматеріали, яка викладається в VIII семестрі в обсязі 3,5 кредитів (за Європейською Кредитно-Трансферною Системою ECTS).
Коротка анотація дисципліни	Дисципліна «Фізика діелектричних кристалів» є фундаментальним розділом основного курсу фізики твердого тіла. Вона ознайомлює студентів з низкою ефектів у кристалічних діелектриках (п'єзоелектричний, п'єзооптичний, піроелектричний, морфічний, інверсія знаку двопронезаломлення тощо) та включає основні поняття тензорного аналізу, законів класичної динаміки та електродинаміки середовища.
Мета та цілі дисципліни	Метою дисципліни є формування в майбутнього фізика цілісної картини фізичних явищ, пов'язаних із фізикою твердого тіла, що передбачає виклад основ симетрії кристалічних діелектриків, основних типів зв'язків та дефектів кристалів; основних понять та методик визначення поляризації та електропровідності діелектриків; поглиблення знань, одержаних в загальних курсах «Електрика», «Оптика» та «Атомна фізика». Завданням є навчити студентів самостійно визначати точкову групу симетрії кристалів; проводити фундаментальні та прикладні дослідження фізичних властивостей кристалічних діелектриків; виконувати фізичне та математичне моделювання фізичних явищ та процесів, які відбуваються при взаємодії випромінювання з кристалом.
Література для вивчення дисципліни	Базова: 1. Стадник В. Й., Капустяник В.Б. Фізика діелектриків : навч. посіб. – Львів : ЛНУ імені Івана Франка, 2020. – 336 с. 2. Стадник В.Й., Габа В.М. Рефрактометрия діелектричних кристалів з несумірними фазами. Монографія. – Львів: Ліга-Прес, 2010, 360 с. 3. Романюк М.О. Кристалооптика. – Київ, 1997, 431 с. 4. Поплавко Ю.М. Фізика діелектриків. — Київ : НТУУ «КПІ», 2015. – 572 с. 5. Стадник В. Й., Романюк М. О., Брезвін Р. С. Електронна поляризованість фероїків – Львів.: Вид. центр ЛНУ імені Івана Франка, 2013. – 392 с.

	<p>Допоміжна:</p> <p>1. Романюк М. О. Практикум з кристалооптики та кристалофізики / М. О. Романюк. – Львів: Вид. центр ЛНУ імені Івана Франка, 2012. – 362 с.</p> <p>Додаткові матеріали також буде запропоновано для кожної теми окремо.</p> <p>Інформаційні ресурси:</p> <p>1. https://en.wikipedia.org/wiki/Dielectric</p>
Тривалість дисципліни	один семестр
Обсяг дисципліни	105 годин, з яких 64 години аудиторних занять, з них 32 годин лекцій, 32 годин лабораторних занять, та 41 години самостійної роботи.
Очікувані результати навчання	<p>В результаті вивчення цього курсу здобувач має оволодіти такими компетентностями:</p> <p>Загальні компетентності (ЗК):</p> <p>ЗК 1. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.</p> <p>ЗК 2. Знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності.</p> <p>ЗК 3. Здатність спілкуватися державною мовою як усно, так і письмово.</p> <p>ЗК 6. Здатність до проведення досліджень на відповідному рівні.</p> <p>ЗК 7. Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел.</p> <p>ЗК 8. Навички міжособистісної взаємодії.</p> <p>ЗК 10. Навички здійснення безпечної діяльності.</p> <p>Спеціальні (фахові) компетентності спеціальності (СК):</p> <p>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.</p> <p>СК 3. Здатність брати участь у виготовленні експериментальних зразків, інших об'єктів дослідження.</p> <p>СК 5. Здатність до постійного розвитку компетентностей у сфері прикладної фізики, інженерії та комп'ютерних технологій.</p> <p>СК 6. Здатність використовувати сучасні теоретичні уявлення в галузі фізики для аналізу фізичних систем.</p> <p>СК 7. Здатність використовувати методи і засоби теоретичного дослідження та математичного моделювання в професійній діяльності</p> <p>СК 9. Здатність виконувати експериментальні та теоретичні дослідження автономно та у складі колективу виконавців.</p> <p>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.</p> <p>Після засвоєння навчальної дисципліни студенти мають продемонструвати такі програмні результати навчання:</p> <p>ПРН 01. Знати і розуміти сучасну фізику на рівні, достатньому для розв'язання складних спеціалізованих задач і практичних проблем прикладної фізики.</p> <p>ПРН 03. Застосовувати ефективні технології, інструменти та методи експериментального дослідження властивостей речовин і матеріалів, включаючи наноматеріали, при розв'язанні практичних проблем прикладної фізики.</p> <p>ПРН 07. Класифікувати, аналізувати та інтерпретувати науково технічну інформацію в галузі прикладної фізики</p> <p>ПРН 10. Планувати й організувати результативну професійну діяльність індивідуально і як член команди при розробці та реалізації</p>

	<p>наукових і прикладних проєктів.</p> <p>ПРН 11. Знати цілі сталого розвитку та можливості своєї професійної сфери для їх досягнення, в тому числі в Україні.</p> <p>ПРН 12. Розуміти закономірності розвитку прикладної фізики, її місце в розвитку техніки, технологій і суспільства, у тому числі в розв'язанні екологічних проблем.</p> <p>ПРН 15. Вміти планувати і виконувати лабораторні та експериментальні дослідження за допомогою вимірювальних приладів, оцінювати похибки проведення досліджень, робити висновки.</p> <p>В результаті вивчення даного курсу студенти повинні знати фундаментальні рівняння Максвелла для немагнітних середовищ; основні положення симетрії кристалів; основні типи поляризацій та електропровідності діелектриків; вплив зовнішніх чинників на діелектричні та оптичні властивості кристалів.</p> <p>вміти: визначити елементи симетрії та точкову групу симетрії кристалів; досліджувати температурні залежності діелектричної проникливості, спонтанної поляризації, величини коерцитивного поля, компонент тензора п'єзоелектричного та п'єзооптичного ефектів і тензора пружних констант; проводити дослідження кристалів в паралельному та збіжному пучках, отримувати коноскопічні фігури кристалів і на їх основі робити висновки щодо орієнтації оптичних осей; проводити дослідження термічного розширення і на їх основі визначати коефіцієнти лінійного розширення кристалів; за допомогою дифракції світла на об'ємних акустичних хвилях визначати коефіцієнт ефективності дифракції світла та швидкість поширення акустичних хвиль.</p>
Ключові слова	Кристали, діелектрики, фероїки, симетрія кристалів, діелектричні властивості
Формат дисципліни	Очний
	проведення лекцій, лабораторних занять і консультації для кращого розуміння тем
Теми	Наведено у таблиці 1
Підсумковий контроль, форма	іспит в кінці семестру
Пререквізити	Для вивчення дисципліни необхідні знання з таких розділів математики і фізики: математичний аналіз, механіка, електрика, оптика, фізика напівпровідників, квантова механіка, фізика фероїків.
Навчальні методи та техніки, які буде використано під час викладання курсу	Презентації, лекції.
Необхідне обладнання	персональний комп'ютер, установка для дослідження сегнетоелектричного фазового переходу, установка для дослідження дифракції світла на об'ємних акустичних хвилях, установка для дослідження п'єзооптичних коефіцієнтів, установка для дослідження показників заломлення та двоприменезаломлення, установка для визначення пружних та п'єзоелектричних характеристик методом резонансу-антирезонансу, кварцовий дилатометр, макети кристалів, проєктор
Критерії оцінювання (окремо для кожного виду навчальної діяльності)	Оцінювання проводиться за 100-бальною шкалою. Бали нараховуються за наступним співвідношенням: <ul style="list-style-type: none"> • лабораторні заняття: 50% семестрової оцінки; максимальна кількість балів 50

• іспит 50% семестрової оцінки. Максимальна кількість балів 50.

Підсумкова максимальна кількість балів 100.

Бали нараховуються за наступним співвідношенням:

- виконання лабораторних робіт: 20 % семестрової оцінки; максимальна кількість балів – 20 (10 лабораторних робіт по 2 бали);
 - 2 бали – студент самостійно виконує завдання лабораторної роботи та правильно інтерпретує отримані результати;
 - 1 бал – студент виконує завдання лабораторної роботи з допомогою викладача та правильно інтерпретує отримані результати;
 - 0 балів – студент не спроможний самостійно виконувати завдання лабораторної роботи.
- захист звітів лабораторних робіт 30 % семестрової оцінки; максимальна кількість балів – 30 (10 лабораторних робіт по 3 балів).
 - 3 бали – студент повністю володіє матеріалом, має правильно оформлений звіт;
 - 1-2 балів – студент частково/добре володіє матеріалом, є грубі/незначні помилки, має правильно оформлений звіт;
 - 0 балів – студент оформив звіт з грубими помилками.

Іспит, на який вноситься 5 питань по 10 балів кожне — разом 50 балів. 10 балів студент отримує у випадку повного висвітлення питання; 8, 9 балів –допущені незначні неточності; 6, 7 балів –неповне розкриття сутності питання; 4, 5 балів – у випадку поверхневого розкриття тематики; менше 3 балів – студент слабо або зовсім не орієнтується в сутності питання.

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.

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 робіт, передбачених курсом.

Література. Усю література, 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.

Політика виставлення балів. Враховуються бали, набрані на практичних та поточному тестуванні. 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; несвочасне виконання поставленого завдання і т. ін.

Додаткові бали можна отримати за результатами **неформального**

	<p>та/або інформального навчання по тематиці даного курсу. Визнання та зарахування результатів такого навчання відбувається у відповідності до наданих документів про неформальне та/або інформальне навчання.</p> <p>Жодні форми академічної недоброчесності не толеруються.</p>
<p>Питання до екзамену (чи питання на контрольні роботи)</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Елементи симетрії у фізиці. 2. Виведення точкових груп симетрії. 3. Точкові групи симетрії. 4. Сингонії. 5. Просторова симетрія. 6. Магнітна симетрія та “кольорова симетрія”. 7. Індесування граней. 8. Установка та вибір осей. 9. Кристалографічні проекції. 10. Типи зв’язків у кристалах. 11. Енергія зв’язку. 12. Молекулярні кристали. 13. Іонні кристали. 14. Ковалентні кристали. 15. Класифікація дефектів. 16. Теплові точкові дефекти. Радіаційні дефекти. 17. Дислокації. Напруги, необхідні для утворення дислокацій і їхній рух. Взаємодія дислокацій з точковими дефектами. 18. Домішкові кристали. Домішки заміщення. Опромінені кристали. 19. Шаруваті кристали. 20. Типи електропровідності в кристалах. 21. Іонна електропровідність. 22. Електронна електропровідність. 23. Поляронна та моліонна провідності. 24. Частотна й температурна залежності електропровідностей в діелектриках. 25. Загальна характеристика поляризації. 26. Поляризація електронного та іонного зміщення 27. Теплова орієнтаційна поляризація. 28. Теплова іонна поляризація. 29. Міжшарова й високовольтна поляризації. 30. Зовнішня вимушена поляризація. 31. Піроелектрична й п’єзоелектрична поляризації. 32. Фотополяризація. 33. Злишкова та спонтанна поляризації. 34. Рівняння Максвелла для прозорих немагнітних кристалів. 35. Плоска хвиля в кристалічних діелектриках. 36. Одинарні оптичні поверхні. 37. Оптична індикатриса. Оптичні осі. 38. Подвійні оптичні поверхні. Поверхні сталої різниці ходу в кристалах. 39. Явище інверсії двопронезаломлення. 40. Основні методи визначення показників заломлення і двопронезаломлення. 41. Вплив одновісного навантаження на рефрактивні параметри діелектриків. 42. П’єзооптичний ефект. 43. Тензор п’єзооптичних констант, вплив симетрії.

	44. Методика визначення абсолютних і відносних п'єзооптичних констант.
Опитування	Анкету-оцінку з метою оцінювання якості курсу буде надано по завершенню курсу.

Таблиця 1

Схема курсу «Фізика діелектричних кристалів»

Тижні	Тема занять	Форма діяльності та обсяг годин	Термін виконання
1–3	Тема 1. Симетрія кристалів. Література: Б 1, 3. Д 1.	Лекції – 6 год, лаб. заняття – 4 год, самостійна робота – 5 год.	3 тижні
4, 5	Тема 2 Основні типи зв'язків у кристалічних діелектриках. Література: Б 1, 3. Д 1.	Лекції – 4 год, лаб. заняття – 2 год, самостійна робота – 6 год.	2 тижні
6, 7	Тема 3. Дефекти в діелектриках. Література: Б 2, 4. Д 1.	Лекції – 4 год, лаб. заняття – 2 год, самостійна робота – 6 год.	2 тижні
8, 9	Тема 4. Електропровідність діелектриків. Література: Б 1, 4, 5. Д 1.	Лекції – 4 год, лаб. заняття – 4 год, самостійна робота – 6 год.	2 тижні
10–12	Тема 5. Електрична поляризація діелектриків. Література: Б 5. Д 1.	Лекції – 6 год, лаб. заняття – 8 год, самостійна робота – 6 год.	3 тижні
13, 14	Тема 6. Поширення світла в діелектричних кристалах. Література: Б 3,4. Д 1.	Лекції – 4 год, лаб. заняття – 8 год, самостійна робота – 6 год.	2 тижні
15, 16	Тема 7. П'єзооптичний ефект. Література: Б 1, 4. Д 1.	Лекції – 4 год, лаб. заняття – 4 год, самостійна робота – 6 год.	2 тижні