

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
Львівський національний університет імені Івана Франка

Фізичний факультет  
Кафедра експериментальної фізики

**Затверджено**

на засіданні кафедри експериментальної фізики  
фізичного факультету  
Львівського національного університету  
імені Івана Франка  
(протокол № 7 від 07.06.2023 р.)

Завідувач кафедри



Анатолій ВОЛОШИНОВСЬКИЙ

**Силабус з навчальної дисципліни**

**“ФІЗИЧНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ”**,

що викладається в межах ОПП “Комп’ютерні технології в прикладній фізиці”  
першого (бакалаврського) рівня вищої освіти  
для здобувачів з спеціальності 105 Прикладна фізика та наноматеріали

<b>Назва дисципліни</b>	Фізичні методи дослідження
<b>Адреса викладання дисципліни</b>	вул. Кирила і Мефодія, 8, м. Львів, 79005
<b>Факультет та кафедра, за якою закріплена дисципліна</b>	Фізичний факультет, кафедра експериментальної фізики
<b>Галузь знань, шифр та назва спеціальності</b>	Галузь знань – 10 Природничі науки Спеціальність – 105 Прикладна фізика та наноматеріали
<b>Викладачі дисципліни</b>	Брезвін Руслан Степанович, доктор фізико-математичних наук, професор кафедри експериментальної фізики.
<b>Контактна інформація викладачів</b>	<a href="mailto:ruslan.brezvin@lnu.edu.ua">ruslan.brezvin@lnu.edu.ua</a> , <a href="mailto:brezvinr@ukr.net">brezvinr@ukr.net</a>
<b>Консультації з питань навчання по дисципліні відбуваються</b>	Консультації в день проведення лекцій та практичних занять (за попередньою домовленістю). Також можливі он-лайн консультації через електронну пошту.
<b>Сторінка дисципліни</b>	
<b>Інформація про дисципліну</b>	Дисципліна «Фізичні методи дослідження» є нормативною навчальною дисципліною для підготовки бакалавра за спеціальністю 105 Прикладна фізика та наноматеріали, яка викладається у VII семестрі в обсязі 3 кредитів (за Європейською Кредитно-Трансферною Системою ECTS).
<b>Коротка анотація дисципліни</b>	У курсі розглядаються теоретичні аспекти, що лежать в основі сукупності методів дослідження спектральних залежностей фізичних величин під впливом електромагнітного випромінювання у широкому спектральному діапазоні.
<b>Мета та цілі дисципліни</b>	Мета: ознайомлення з сучасними експериментальними методами фізичних досліджень, які використовуються в дослідницьких лабораторіях кафедр фізичного факультету та факультету електроніки. Завданням курсу є формування в студентів знань та умінь, необхідних для висвітлення методів отримання різноманітних спектрів фізичних величин під впливом електромагнітного випромінювання різних довжин хвиль.
<b>Література для вивчення дисципліни</b>	<b>Базова:</b> 1. Василечко Л.О., Кондир А.І. Фізичні методи дослідження функціональних матеріалів. Л.: Видавництво ЛП, 2020 – 328 с. 2. Соболев В.В., Немошкаленко В.В. Методи обчислювальної фізики в теорії твердого тіла. К.: Наукова думка, 1988. – 432 с. 3. Немошкаленко В.В., Альошін В.Т. Електронна спектроскопія кристалів. К.: Наукова думка, 1983. – 288 с. 4. Говорун Т. П., Будник А. Ф., Юскаєв В. Б.. Фізичні властивості і методи дослідження матеріалів. Суми : Сумський державний університет, 2014. 255 с. 5. Карлсон Т. Фотоелектронна і оже-спектроскопія. 1981. – 430 с. 6. М.О.Романюк. Кристалооптика: навч.посібник. – [2-ге вид. випр. і допов.]. – Львів: ЛНУ імені Івана Франка, 2017. – 456 с.

	<p><b>Допоміжна:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Крочук А.С., Підзирайло М.С. Лабораторні роботи з молекулярної спектроскопії і люмінесценції. Львів: ЛДУ, 1982.</li> <li>2. Белл Р.Дж. Вступ у Фур'є-спектроскопію. 1975 – 340 с.</li> <li>3. Лобода В. Б., Іваній В. С., Хурсенко С. М. Сучасні методи дослідження структури речовини. Спеціальний фізичний практикум. Університетська книга, 2023 – 259 с.</li> <li>4. М.О.Романюк. Практикум з кристалооптики і кристалофізики. – Львів: ЛНУ імені Івана Франка, 2012. – 362 с.</li> </ol> <p><b>Інформаційні ресурси:</b>  <a href="http://www.znannya.org">www.znannya.org</a>.</p>
<b>Тривалість курсу</b>	Один семестр (7 семестр)
<b>Обсяг курсу</b>	90 годин, з яких 32 год. аудиторних занять, з них 16 годин лекцій, 16 годин лабораторних занять та 58 годин самостійної роботи.
<b>Очікувані результати навчання</b>	<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 9.</b> Здатність працювати автономно.</p> <p><b>Спеціальні (фахові) компетентності (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 5.</b> Здатність до постійного розвитку компетентностей у сфері прикладної фізики, інженерії та комп'ютерних технологій.</p> <p><b>Програмні результати навчання (ПРН):</b></p> <p><b>ПРН 01.</b> Знати і розуміти сучасну фізику на рівні, достатньому для розв'язання складних спеціалізованих задач і практичних проблем прикладної фізики.</p> <p><b>ПРН 03.</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 04.</b> Застосовувати фізичні, математичні та комп'ютерні моделі для дослідження фізичних явищ, розробки приладів і наукоємних технологій.</p> <p><b>ПРН 05.</b> Вибирати ефективні методи та інструментальні засоби проведення досліджень у галузі прикладної фізики.</p> <p><b>ПРН 11.</b> Знати цілі сталого розвитку та можливості своєї професійної сфери для їх досягнення, в тому числі в Україні.</p> <p>У результаті вивчення даного курсу студент повинен <b>знати:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- класифікацію фізичних методів досліджень;</li> <li>- основні фізичні положення стосовно квантових станів електронів в атомах;</li> <li>- емпіричні закономірності рентгенівських емісійних спектрів,</li> </ul>

закон Мозлі;

- основи якісного і кількісного емісійного спектрального аналізу;
- методику дослідження поверхні твердих тіл ожеелектронною спектроскопією;
- класифікацію оптичної спектроскопії;
- співвідношення Крамерса-Кроніга;
- знаходження оптичних функцій кристалів за спектрами відбивання;
- фізичні основи аналізу краю власного поглинання твердих тіл;
- основні положення методу розв'язку структурно-спектроскопічних задач;
- аналіз природи і можливостей використання методу комбінаційного розсіювання світла;
- люмінесцентні характеристики речовини;
- функціональну схему установки для вимірювання спектрів люмінесценції;
- методи визначення енергетичних параметрів центрів захоплення методом кривих термовисвічування;
- фізичні основи Фур'є-спектроскопії та її інформаційні можливості;
- суть явища електронного парамагнітного резонансу;
- особливості дослідження речовин методом електронного парамагнітного резонансу, інформаційні можливості методу;
- принципи мас-спектроскопії, як методу дослідження хімічного складу речовин.

**вміти:**

- здійснювати вибір принципіальної схеми для проведення рентгеноспектральних досліджень (вимірювання спектрів поглинання і емісійних спектрів);
- проводити якісний, напівкількісний і кількісний емісійний спектральний аналіз;
- аналізувати рентгеноелектронні та оже-спектри;
- застосувати дані рентгеноспектральних досліджень для побудови схеми енергетичних рівнів електронної підсистеми атомі;
- застосувати необхідну схему для вимірювання спектрів поглинання, відбивання в оптичному спектральному діапазоні;
- розраховувати оптичні функції кристалів з використанням спектрів відбивання та співвідношень Крамерса-Кроніга;
- здійснювати оцінку величини електрон-фононої взаємодії і типу зона-зонних переходів на основі аналізу краю власного поглинання твердих тіл;
- проводити аналіз структури органічних сполук за характеристичністю їх оптичних спектрів;
- використовувати методику комбінаційного розсіювання світла для уточнення тонкої структури енергетичних рівнів атомів;
- здійснювати вибір принципіальної схеми для проведення люмінесцентних досліджень;
- визначити порядок кінетики релаксації енергії збудження із вимірюваних кривих загасання люмінесценції;
- здійснювати розрахунок глибини загасання електронних і діркових центрів захоплення на основі кривих термостимульованої люмінесценції;
- робити математичну обробку даних отриманих з вимірювань на Фур'є спектроскопії;

	- розшифровувати тонку структуру спектрів електронного парамагнітного резонансу.								
<b>Ключові слова</b>	Фотоелектронна та оже-спектроскопія, поглинання світла, дисперсійні співвідношення, фур'є-спектроскопія, еліпсометрія, люмінесцентний аналіз, електронний парамагнітний резонанс.								
<b>Формат курсу</b>	Очний: лекції, лабораторні заняття, самостійна робота та консультації для кращого розуміння тем.								
<b>Теми</b>	Наведено у табл.1.								
<b>Підсумковий контроль, форма</b>	залік в кінці семестру								
<b>Пререквізити</b>	Для вивчення курсу студенти потребують базових знань з: Оптика, Атомна фізика.								
<b>Навчальні методи та техніки, які будуть використовуватися під час викладання курсу</b>	Презентація, лекції, дискусія, виконання лабораторних робіт.								
<b>Необхідне обладнання</b>	Лекційні заняття – мультимедійна установка та ноутбук. Лабораторні заняття – обладнання навчальних лабораторій: - атомної фізики та прикладної спектроскопії; - оптики та кристалофізики (лабораторія кристалооптики) (спектрограф ДФС-452, спектрометр СФ-46, спектрометр “Спектр”, інфрачервоний спектрограф UR-2).								
<b>Критерії оцінювання (окремо для кожного виду навчальної діяльності)</b>	<p>Оцінювання проводиться за 100- бальною шкалою. Бали нараховуються за наступним співвідношенням:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• лабораторні роботи: 50% семестрової оцінки; максимальна кількість балів 50 (5 робіт x 10 балів=50);</li> <li>• робота на лекціях – 10 балів;</li> <li>• два контрольні заміри (2 модулі): 40% семестрової оцінки; максимальна кількість балів 40 (2 модулі×20 балів = 40 балів);</li> </ul> <p>Разом – 100 балів. Підсумкова максимальна кількість балів: 100.</p> <p style="text-align: center;"><b>Шкала оцінювання лабораторної роботи</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Бали</th> <th>Критерії оцінювання</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>10</td> <td>Здобувач самостійно провів експеримент відповідно до ходу роботи в повному обсязі, грамотно обробив результати експерименту. Склавши письмовий звіт з виконання роботи, зробив обґрунтований висновок. На захисті продемонстрував глибокий рівень знань з тематичної лабораторної роботи. Більш високим рівнем вважається виконання роботи (за можливості) за самостійно складеним оригінальним планом і обґрунтування його вибору.</td> </tr> <tr> <td>7–9</td> <td>Студент самостійно провів експеримент відповідно до ходу роботи, обробив математично результати експерименту, склав письмовий звіт з виконання роботи, при оформленні допущено незначні помилки, самостійно робить висновки, на захисті, за винятком несуттєвих фізичних неточностей, продемонстрував глибокий рівень знань.</td> </tr> <tr> <td>5–6</td> <td>Студент самостійно провів експеримент відповідно до ходу роботи, обробив з деякими математичними</td> </tr> </tbody> </table>	Бали	Критерії оцінювання	10	Здобувач самостійно провів експеримент відповідно до ходу роботи в повному обсязі, грамотно обробив результати експерименту. Склавши письмовий звіт з виконання роботи, зробив обґрунтований висновок. На захисті продемонстрував глибокий рівень знань з тематичної лабораторної роботи. Більш високим рівнем вважається виконання роботи (за можливості) за самостійно складеним оригінальним планом і обґрунтування його вибору.	7–9	Студент самостійно провів експеримент відповідно до ходу роботи, обробив математично результати експерименту, склав письмовий звіт з виконання роботи, при оформленні допущено незначні помилки, самостійно робить висновки, на захисті, за винятком несуттєвих фізичних неточностей, продемонстрував глибокий рівень знань.	5–6	Студент самостійно провів експеримент відповідно до ходу роботи, обробив з деякими математичними
Бали	Критерії оцінювання								
10	Здобувач самостійно провів експеримент відповідно до ходу роботи в повному обсязі, грамотно обробив результати експерименту. Склавши письмовий звіт з виконання роботи, зробив обґрунтований висновок. На захисті продемонстрував глибокий рівень знань з тематичної лабораторної роботи. Більш високим рівнем вважається виконання роботи (за можливості) за самостійно складеним оригінальним планом і обґрунтування його вибору.								
7–9	Студент самостійно провів експеримент відповідно до ходу роботи, обробив математично результати експерименту, склав письмовий звіт з виконання роботи, при оформленні допущено незначні помилки, самостійно робить висновки, на захисті, за винятком несуттєвих фізичних неточностей, продемонстрував глибокий рівень знань.								
5–6	Студент самостійно провів експеримент відповідно до ходу роботи, обробив з деякими математичними								

	помилками результати експерименту, склав письмовий звіт з виконання роботи, зробив правильні висновки або їх частину, на захисті продемонстрував середній рівень знань.
3–4	Студент виконав експеримент відповідно до ходу роботи. Одержані результати дають можливість сформулювати правильні висновки або їх частину. Під час математичної обробки та оформлення роботи допущено суттєві помилки. На захисті тематичної лабораторної роботи продемонстровано задовільний рівень знань.
1–2	Студент провів експеримент з допомогою лаборанта/викладача, частково обробив результати експерименту, склав письмовий звіт з виконання роботи без належного оформлення, на захисті продемонстрував базовий рівень знань.
0	Не представлено до захисту звіту з відповідної тематичної лабораторної роботи здобувачем.

- контрольний замір (модуль): 40% семестрової оцінки; максимальна кількість балів 40;

Оцінювання письмової модульної контрольної роботи (0–20 балів) враховує рівень сформованості знань та вмінь на кінцевому етапі вивчення навчальної дисципліни. Відповідно 20 балів здобувач отримує за 100–96% правильних відповідей, 18 балів – 95–91% прав. відпов., 16 балів – 90–86% прав. відпов., 14 балів – 85–81% прав. відпов., 12 балів – 80–76% прав. відпов., 10 балів – 75–71% прав. відпов., 8 балів – 70–66% прав. відпов., 6 балів – 65–61% прав. відпов., 4 бали – 60–56% прав. відпов., 2 бали – 55–51% прав. відпов., 0 балів – 50% і менше правильних відповідей.

#### **Шкала оцінювання модульної контрольної роботи**

<b>Кількість балів</b>	<b>% правильних відповідей</b>
20	100-96
18	95-91
16	90-86
14	85-81
12	80-76
10	75-71
8	70-66
6	65-61
4	60-56
2	55-51
0	50 і менше

У разі відсутності студента під час проведення лабораторних занять чи на контрольних замірах з поважних причин йому надається право на відпрацювання. У всіх інших випадках відсутність здобувача автоматично зараховується йому як незадовільна оцінка (0 балів) за відповідну тематичну лабораторну роботу чи контрольний замір. Незадовільну оцінку студент має право перескласти. Додатковий термін перездачі призначає викладач.

**Академічна доброчесність** здобувачами вищої освіти передбачає

	<p>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> <p><b>Відвідання занять</b> 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.</p> <p><b>Література.</b> 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.</p> <p><b>Політика виставлення балів.</b> 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.</p> <p><b>Додаткові бали</b> можна отримати за результатами <b>неформального та/або інформального навчання</b> по тематиці даного курсу. Визнання та зарахування результатів такого навчання відбувається у відповідності до наданих документів про неформальне та/або інформальне навчання.</p> <p><b>Жодні форми академічної недоброчесності не толеруються.</b></p>
<p><b>Питання до контрольних замірів (модулів)</b></p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Основні етапи розвитку фізичних методів досліджень, їх класифікація, інформаційні можливості. Сучасний стан та перспективи.</li> <li>2. Рентгенівська, рентгеноелектронна та фотоелектронна спектроскопія як метод дослідження енергетичної структури і вивчення атомів у хімічних сполуках. Інформативні можливості рентгенівської ФЕС: хімічні зміщення основних рівнів, структура валентної зони.</li> <li>3. Оптичні спектри власного поглинання та відбивання кристалів. Вимірні та розрахункові параметри. Метод Крамерса-Кроніга. Фізичні та математичні основи дисперсійних співвідношень.</li> <li>4. Оптична спектроскопія, еліпсометрія як метод дослідження фізичних властивостей поверхні речовин та тонких плівок.</li> <li>5. Спектрально-кінетичні методи досліджень передачі енергії збудження в конденсованих системах. Люмінесцентний аналіз, основні закономірності, параметри спектрів. Застосування кристалофосфорів.</li> <li>6. Фізичні основи Фур'є-спектроскопії та її інформаційні можливості.</li> <li>7. Мас-спектроскопія, як метод дослідження хімічного складу речовин.</li> <li>8. Електронний парамагнітний резонанс (ЕПР). Фізичний зміст</li> </ol>

	параметрів спектрів. Тонка структура спектрів ЕПР. Інформаційні можливості методу.
<b>Опитування</b>	Анкету-оцінку з метою оцінювання якості курсу буде надано по завершенню курсу.

Таблиця 1

## Схема курсу «Фізичні методи дослідження»

Тиж-день	Тема занять	Форма діяльності та обсяг годин	Література	Термін виконання
1	Вступ. Основні етапи розвитку фізичних методів досліджень, їх класифікація, інформаційні можливості. Сучасний стан та перспективи.	Лекції – 2 год. лабор. заняття – 2 год. самостійна робота – 4 год.	Б:1–6 Д: 2, 3	1 тиждень
2	Рентгенівська, рентгеноелектронна та фотоелектронна спектроскопія як метод дослідження енергетичної структури і вивчення атомів у хімічних сполуках. Інформативні можливості рентгенівської ФЕС: хімічні зміщення основних рівнів, структура валентної зони.	Лекції – 2 год. лабор. заняття – 2 год. самостійна робота – 6 год.	Б: 1–5 Д: 1, 2,3	1 тиждень
3	Оптичні спектри власного поглинання та відбивання кристалів. Вимірювальні та розрахункові параметри. Метод Крамерса-Кроніга. Фізичні та математичні основи дисперсійних співвідношень.	Лекції – 2 год. лабор. заняття – 2 год. самостійна робота – 6 год.	Б: 1–4, 6 Д: 3, 4	1 тиждень
4	Оптична спектроскопія, еліпсометрія як метод дослідження фізичних властивостей поверхні речовин та тонких плівок.	Лекції – 2 год. лабор. заняття – 2 год. самостійна робота – 10 год.	Б: 1–4, 6 Д: 3, 4	1 тиждень
5	Спектрально-кінетичні методи досліджень передачі енергії збудження в конденсованих системах. Люмінесцентний аналіз, основні закономірності, параметри спектрів. Застосування кристалофосфорів.	Лекції – 2 год. лабор. заняття – 2 год. самостійна робота – 8 год.	Б: 1–5 Д: 1, 3	1 тиждень
6	Фізичні основи Фур'є-спектроскопії та її інформаційні можливості.	Лекції – 2 год. лабор. заняття – 2 год. самостійна робота – 8 год.	Б: 1–5 Д: 2	1 тиждень
7	Мас-спектроскопія, як метод дослідження хімічного складу речовин.	Лекції – 2 год. лабор. заняття – 2 год. самостійна робота – 8 год.	Б: 1–4, 6 Д: 4	1 тиждень
8	Електронний парамагнітний резонанс (ЕПР). Фізичний зміст параметрів спектрів. Тонка структура спектрів ЕПР. Інформаційні можливості методу.	Лекції – 2 год. лабор. заняття – 2 год. самостійна робота – 8 год.	Б: 1–4 Д: 3	1 тиждень