

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

Затверджено

на засіданні кафедри фізики металів
фізичного факультету
Львівського національного університету
імені Івана Франка
(протокол № 7 від 26 червня 2023 року)

Завідувач кафедри



проф. Степан МУДРИЙ

Силабус
з навчальної дисципліни
«Мікроскопічні методи в сучасному матеріалознавстві»,
що викладається в межах ОНП «Експериментальна фізика»
другого (магістерського) рівня вищої освіти
для здобувачів зі спеціальності 104 «Фізика та астрономія»

Львів 2023

Назва дисципліни	Мікроскопічні методи в сучасному матеріалознавстві
Адреса викладання дисципліни	вул. Кирила і Мефодія, 8, 79005, м. Львів
Факультет та кафедра, за якою закріплена дисципліна	Фізичний факультет, кафедра фізики металів
Галузь знань, шифр та назва спеціальності	Галузь знань – 10 Природничі науки Спеціальність – 104 Фізика та астрономія
Викладач дисципліни	Лектор: Никируй Юлія Семенівна, к.ф.-м.н., доцент кафедри фізики металів; лабораторні заняття проводить: Никируй Ю. С.
Контактна інформація викладача	Yuliya.nykuryu@lnu.edu.ua https://physics.lnu.edu.ua/employee/nykuryuj-yu-s
Консультації з питань навчання по дисципліні відбуваються	Консультації в день проведення лекцій та лабораторних занять (за попередньою домовленістю). Також можливі консультації через електронну пошту або он-лайн засобами Microsoft Teams, Telegram.
Сторінка курсу	https://physics.lnu.edu.ua/course/mikroskopichni-metody-v-suchasnomu-materialoznavstvi
Інформація про дисципліну	«Мікроскопічні методи в сучасному матеріалознавстві» є нормативною дисципліною для підготовки магістрів за спеціальністю 104 «Фізика та астрономія», яка викладається в II семестрі в обсязі 4,5 кредитів (за Європейською Кредитно-Трансферною Системою ECTS).
Коротка анотація дисципліни	У програмі дисципліни «Мікроскопічні методи в сучасному матеріалознавстві» викладено сучасні досягнення науки і техніки в галузі мікроскопії та передові результати досліджень будови речовини, що базуються на найновіших теоретичних та експериментальних даних, опублікованих у періодичних наукових виданнях. Дисципліна охоплює методи дослідження будови матеріалів на мікро- та наноструктурному рівні, в основі яких лежить використання різних видів мікроскопів, зокрема електронних та зондових, і методики підготовки зразків для таких досліджень.
Мета та цілі дисципліни	Метою дисципліни є засвоєння студентами основних положень в галузі електронного матеріалознавства; одержання знань про будову і фізичні принципи роботи електронних мікроскопів, рентгенівських мікроаналізаторів, Оже-мікроскопів, зондових та інших, підготовку зразків для досліджень та ознайомлення з особливостями проведення різних видів мікроскопічних досліджень.
Література для вивчення дисципліни	Базова: 1. Тузяк О. Я., Курляк В. Ю. Основи електронної та зондової мікроскопії: навч. посібник/ Львів : ЛНУ імені Івана Франка, 2012.-296 с. 2. Локальні методи досліджень [Електронний ресурс]: підручник для студентів спеціальності 105 «Прикладна фізика та наноматеріали» / Загородній В. В.; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 6.40 Мбайт) – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019, 323 с. 3. Горячко А. М., Кулик С. П., Прокопенко О. В. Основи скануючої зондової мікроскопії та спектроскопії (Частина 2): Навчальний посібник / за ред. С. П. Кулика та О. В. Прокопенка. – К.: Радіофізичний факультет Київського національного університету

	<p>імені Тараса Шевченка, 2012. – 170 с</p> <p>4. Прикладне матеріалознавство : навчальний посібник. / Т. Ф. Архіпова, А. Ю. Осадчук. – Вінниця : ВНТУ, 2013. – 60 с.</p> <p>5. Ю. А. Куницький, Я. І. Купина. Електронна мікроскопія: навчальний посібник. Київ.: Либідь, 1994. - 392 с.</p> <p>Допоміжна:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Мікроскопія в нанотехнологіях [Текст]: / В. С. Антонюк, Г. С. Тимчик, О. В. Верцанова [та ін.] //– К. : НТТУ «КПІ», 2014. – 258 с. : іл.– 157. Бібліогр. : С.245-258. 2. Практичні методи електронної мікроскопії : навч. посібник / В. І. Перекрестов. – Суми : Сумський державний університет, 2014. – 241 с.
Тривалість курсу	Один семестр
Обсяг курсу	48 годин аудиторних занять. З них 16 годин лекцій, 32 години лабораторних робіт та 87 годин самостійної роботи.
Очікувані результати навчання	<p>В результаті успішного проходження курсу студент набуде такі загальні компетентності (ЗК):</p> <p>здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях (ЗК01); знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності (ЗК02); здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел (ЗК03); здатність використовувати інформаційні та комунікаційні технології (ЗК05); здатність проведення досліджень на відповідному рівні (ЗК07).</p> <p>та спеціальні (фахові) компетентності (СК):</p> <p>здатність використовувати закони та принципи фізики та/або астрономії у поєднанні із потрібними математичними інструментами для опису природних явищ (СК01); здатність формулювати, аналізувати та синтезувати рішення наукових проблем у галузі фізики та/або астрономії (СК02); здатність сприймати новоздобуті знання у галузі фізики та астрономії та інтегрувати їх з уже наявними, а також самостійно опановувати знання та навички, необхідні для розв'язання складних задач і проблем у нових для себе деталізованих предметних галузях фізики та/або астрономії й дотичних до них міждисциплінарних областях (СК05); здатність формулювати нові гіпотези та наукові задачі у галузі фізики та астрономії, вибирати відповідні методи для їх розв'язання, беручи до уваги наявні ресурси (СК08); здатність ефективно використовувати на практиці сучасні теорії методи управління наукою та ділового адміністрування (СК09); здатність використовувати фізичну апаратуру та обладнання(СК11); здатність обирати відповідні методи фізичного аналізу для вузько напрямленого вивчення конкретних об'єктів досліджень (СК12); здатність виявляти й тлумачити основні закономірності поведінки фізичних величин і процесів, ґрунтуючись на одержаних експериментальних даних(СК13).</p> <p>Після засвоєння навчальної дисципліни студенти мають продемонструвати такі <i>програмні результати навчання</i>:</p> <p>використовувати концептуальні та спеціалізовані знання і розуміння актуальних проблем і досягнень обраних напрямів сучасної теоретичної та експериментальної фізики та/або астрономії для розв'язання складних задач і практичних проблем (РН01);</p>

	<p>обирати і використовувати відповідні методи обробки та аналізу даних фізичних та/або астрономічних досліджень і оцінювання їх достовірності (PH04);</p> <p>обирати ефективні математичні методи та інформаційні технології та застосовувати їх для здійснення досліджень та/або інновацій у галузі фізики та/або астрономії (PH06);</p> <p>відшукувати інформацію і дані, необхідні розв'язання складних задач фізики та/або астрономії, використовуючи різні джерела, зокрема, наукові видання, наукові бази даних тощо, оцінювати та критично аналізувати отриману інформацію та дані (PH10);</p> <p>застосовувати теорії, принципи і методи фізики та/або астрономії для розв'язання складних міждисциплінарних наукових і прикладних задач (PH11);</p> <p>застосовувати спеціальну фізичну апаратуру й обладнання для вимірювання фізичних величин (PH17);</p> <p>проводити стандартні експерименти з досліджень структури та властивостей кристалічних, аморфних, рідких і наносистем (PH18);</p> <p>вміння обробити, проаналізувати та пояснити фізичну інформацію, одержану за допомогою методів х-променевої дифракції, люмінесцентної й оптичної спектроскопії, моделювання, електронної мікроскопії, термічного аналізу (PH19);</p> <p>дотримуватися вимог безпеки життєдіяльності й охорони праці під час експлуатації лабораторного обладнання (PH20).</p> <p>В результаті вивчення цього курсу студенти будуть знати: будову і фізичні принципи роботи мікроскопів, зокрема електронних, зондових, термоємисійних і ін., методи виготовлення тонко плівкових зразків та реплік, методику розшифровки електроннограм, електронно-мікроскопічних зображень; фізичні принципи взаємодії електронів з речовиною; межі застосування зазначених методів досліджень;</p> <p>вміти: проводити експериментальні дослідження матеріалів різного типу зазначеними методами і аналізувати отримані результати. виготовляти зразки для електронно-мікроскопічних і електронно-графічних досліджень методами вакуумного напилення, виготовлення одноступеневих і багатоступеневих реплік; проводити розшифрування електроннограм і електронноскопічних знімків на основі кінетичної і динамічної теорії розсіяння електронів.</p>
Ключові слова	Електронна мікроскопія, зондова мікроскопія, вакуумне напилення, мікро- і наноструктура, будова твердих тіл.
Формат курсу	Очний; проведення лекцій, лабораторних занять і консультації для кращого розуміння тем
Теми	Наведено у таблиці 1
Підсумковий контроль, форма	Підсумковий контроль: іспит в кінці семестру. Форма: комбінований.
Пререквізити	Для вивчення дисципліни необхідні знання з молекулярної фізики, оптики, електрики і електродинаміки, матеріалознавства, а також з фундаментальних математичних дисциплін
Навчальні методи та техніки, які буде використано під час викладання курсу	Презентації, лекції, робота за комп'ютером, проведення досліджень, дискусії.
Необхідне обладнання	Персональний комп'ютер, загальноживані комп'ютерні програми й операційні системи, проектор, вакуумний пост для напилення тонких плівок, оптичні та електронні мікроскопи.

Критерії оцінювання (окремо для кожного виду навчальної діяльності)

Оцінювання проводиться за 100-бальною шкалою. Бали нараховуються за наступним співвідношенням:

- лабораторні роботи: 40% семестрової оцінки; максимальна кількість балів $40 = 8 \text{ робіт} \times 5 \text{ балів}$;

За якісне виконання однієї лабораторної роботи студент отримує 5 балів з навчальної дисципліни.

Шкала оцінювання лабораторної роботи

Бали	Критерії оцінювання
5	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.
4	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.
3	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.
2	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	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): 10% семестрової оцінки; максимальна кількість балів 10;

Оцінювання письмової модульної контрольної роботи (0–10 балів) враховує рівень сформованості знань та вмінь на кінцевому етапі вивчення навчальної дисципліни. Відповідно 10 балів здобувач отримує за 100–96% правильних відповідей, 9 балів – 95–91% прав. відпов., 8 балів – 90–86% прав. відпов., 7 балів – 85–81% прав. відпов., 6 балів – 80–76% прав. відпов., 5 балів – 75–71% прав. відпов., 4 бали – 70–66% прав. відпов., 3 бали – 65–61% прав. відпов., 2 бали – 60–56% прав. відпов., 1 бал – 55–51% прав. відпов., 0 балів – 50% і менше правильних відповідей.

Шкала оцінювання модульної контрольної роботи

Кількість балів	% правильних відповідей
10	100-96
9	95-91
8	90-86
7	85-81
6	80-76
5	75-71
4	70-66
3	65-61
2	60-56
1	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.

Додаткові бали можна отримати за результатами неформального 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. Також до 10 додаткових балів включно можна отримати через наукову роботу здобувача, куди входить написання тез, статей, участь у міжнародних, всеукраїнських та/або інших заходах або конкурсах за тематикою навчальної дисципліни.

- іспит: 50% семестрової оцінки. Максимальна кількість балів 50. Екзамен складається з 3-х описових питань по 10 балів кожне та тестового завдання – 20 балів (10 питань*2 бали).

Шкала оцінювання описових питань

10	Студент дав вичерпну відповідь на питання, навів схематичні зображення та відповідні формули
9	Студент дав вичерпну відповідь на питання, навів схематичні зображення та відповідні формули, однак допустив деякі незначні неточності.
8	Студент дав відповідь на питання, навів схематичні зображення та відповідні формули однак допустив деякі помилки та/або навів неповний опис, неточності в схематичних зображеннях
7	Студент дав відповідь на питання, навів схематичні зображення та відповідні формули однак допустив кілька суттєвих помилок
6	Студент дав часткову відповідь на питання, навів відповідні формули, зобразив неповні/некоректні схематичні зображення
5	Студент дав часткову відповідь на питання та описав відповідні формули, однак не навів схематичні зображення
4	Студент дав часткову відповідь на питання та описав відповідні формули, однак не навів

	схематичні зображення, допустив помилки та неточності у формулах
3	Студент дав відповідь на питання поверхнево, без опису, не навів схематичних зображень та формул, або допустив грубі помилки
2	Студент не дав відповіді на питання, однак навів схематичні зображення та/або формули
1	Відповідь студента неповна, фрагментарна, з грубими помилками, без опису, схематичних зображень та/або формул

Підсумкова максимальна кількість балів – 100.

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.

Відвідування 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 за виконання й захист лабораторних робіт і на контрольному замірі. При цьому обов'язково враховуються присутність на заняттях та активність студента під час заняття; недопустимість пропусків і запізнень на заняття; користування мобільним телефоном, планшетом чи іншими мобільними пристроями під час заняття в цілях, не пов'язаних із навчанням; списування та плагіат; несвоєчасне виконання поставленого завдання і т. ін.

Жодні форми академічної недоброчесності не толеруються.

Питання до екзамену	<ol style="list-style-type: none"> 1. Як формується електронний пучок. Схема і принцип роботи електронної гармати. Засоби управління електронним пучком. 2. Будова і принцип роботи трансмісійного електронного мікроскопа (ПЕМ). Особливості формування та аналізу ТЕМ-зображення. 3. Будова і принцип роботи сканувального електронного мікроскопа. Фокусування та керування електронним променем. Роздільна здатність СЕМ 4. Взаємодія електронного пучка з матеріалом. Область взаємодії. Сигнали, що виникають внаслідок взаємодії. Чим зумовлений контраст зображення сформованого кожним із цих сигналів 5. Опишіть метод дослідження структури за допомогою вторинних електронів.
----------------------------	--

	<p>6. Особливості дослідження структури методом зворотно-відбитих електронів</p> <p>7. Будова і принцип роботи сканувального зондового мікроскопа. Особливості аналізу поверхні методом СЗМ. Як формується зображення в сканувальному зондовому мікроскопі.</p> <p>8. Електронограф. Дифракція електронів на просвіт і відбивання. Дифракція від вибраної ділянки, метод сканувальної трансмісійної електронної мікроскопії.</p> <p>9. Принцип роботи сканувального зондового мікроскопа. Назвіть основні складові частини. Опишіть режими роботи атомно-силового мікроскопа.</p> <p>10. Тунельна мікроскопія. Будова і принцип роботи сканувального тунельного мікроскопа (СТМ).</p> <p>11. Види зондової мікроскопії. Магнітно-силова мікроскопія. Особливості формування та аналізу МСМ-зображень</p> <p>12. Принцип роботи магнітного зондового мікроскопа. Назвіть основні складові частини. Як проводять дослідження за допомогою МЗМ?</p> <p>13. Основні принципи Оже-мікроскопії. Формування та аналіз Оже-зображень. Що таке Оже-електрони?</p> <p>14. Контраст і роздільна здатність електронно-мікроскопічних зображень. Порівняйте роздільну здатність зображень отриманих за допомогою зворотно-відбитих, вторинних та оже-електронів (при однаковій напрузі катоду).</p> <p>15. Дослідження структури методом електронної дифракції. Отримання та розшифровка електронограм</p> <p>16. Особливості дослідження структури за допомогою характеристичного рентгенівського випромінювання.</p> <p>17. Підготовка зразків для дослідження методом ПЕМ (вимоги до зразка, механічна обробка, травлення)</p> <p>18. Напилення тонких плівок для дослідження методом ПЕМ. Будова та принцип роботи обладнання для вакуумного напилення.</p> <p>19. Репліки для ПЕМ. Види реплік та методи їх отримання. Опишіть спосіб отримання репліки методом напилення у вакуумі.</p> <p>20. Будова і принцип роботи термоелектронного емісійного мікроскопа. Особливості формування та аналізу ТЕЕМ-зображень.</p>
Опитування	Анкету-оцінку з метою оцінювання якості курсу буде надано по завершенню курсу.

Таблиця 1

Схема курсу «Мікроскопічні методи в сучасному матеріалознавстві»

Тижні	Тема, план, короткі тези	Форма діяльності (заняття)* самостійна, груповою робота)	Література .*** Ресурси в інтернеті	Завдання	Термін виконання
1–2	Тема 1. Взаємодія електронного променя з матеріалом. Сканувальна електронна мікроскопія	Лекції — 2 год. лабор. заняття – 4 год, самостійна робота –11 год	Б.1, Б.2, Б.4, Б.5	Опрацювати матеріали лекції та рекомендовану літературу Підготовка до лабораторної роботи	2 тижні
3–4	Тема 2. Характеристичне	Лекції — 2 год.	Б.2, Б.4,	Опрацювати матеріали	2

Тижні	Тема, план, короткі тези	Форма діяльності (заняття)* *лекція, самостійна, дискусія, групова робота)	Література .*** Ресурси в інтернеті	Завдання	Термін виконання
	рентгенівське випромінювання. Рентгенівський мікροаналіз. Оже-мікроскопія.	лабор. заняття – 4 год, самостійна робота – 11 год	Д.1	лекції та рекомендовану літературу Підготовка до лабораторної роботи	тижні
5–6	Тема 3. Трансмісійна електронна мікроскопія. Електронограф.	Лекції — 2 год. лабор. заняття – 4 год, самостійна робота – 11 год	Б.1, Б.2, Б.5, Д.2	Опрацювати матеріали лекції та рекомендовану літературу Підготовка до лабораторної роботи Підготовка до захисту лабораторних робіт	2 тижні
7–8	Тема 4. Термоелектронна емісійна мікроскопія.	Лекції — 2 год. лабор. заняття – 4 год, самостійна робота – 11 год	Б.5, Д.1	Опрацювати матеріали лекції та рекомендовану літературу Підготовка до лабораторної роботи Підготовка до захисту лабораторних робіт	2 тижні
9–10	Тема 5. Сканувальні зондові мікроскопи. Атомно-силова мікроскопія. Тунельна мікроскопія.	Лекції — 2 год. лабор. заняття – 4 год, самостійна робота – 11 год	Б.1, Б.2, Б.3,	Опрацювати матеріали лекції та рекомендовану літературу Підготовка до лабораторної роботи Підготовка до захисту лабораторних робіт	2 тижні
11–12	Тема 6. Магнітно-силова мікроскопія.	Лекції — 2 год. лабор. заняття – 4 год, самостійна робота – 11 год	Б.1, Б.3	Опрацювати матеріали лекції та рекомендовану літературу Підготовка до лабораторної роботи Підготовка до захисту лабораторних робіт	2 тижні
13–14	Тема 7. Сучасні оптичні мікроскопи.	Лекції — 2 год. лабор. заняття – 4 год, самостійна робота – 11 год	Б.4, Б.5, Д.1	Опрацювати матеріали лекції та рекомендовану літературу Підготовка до лабораторної роботи Підготовка до захисту лабораторних робіт	2 тижні
15–16	Тема 8. Конфокальна мікроскопія. Лазерний конфокальний сканувальний мікроскоп.	Лекції — 2 год. лабор. заняття – 3 год, контрольний замір – 1 год самостійна робота – 10 год	Б.4, Б.5	Опрацювати матеріали лекції та рекомендовану літературу Підготовка до лабораторної роботи Підготовка до захисту лабораторних робіт	2 тижні