

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 № 9 від 29 серпня 2025 року)

Завідувач кафедри



проф. Степан МУДРИЙ

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

Львів 2025

Назва дисципліни	Сучасні методи дослідження структури матеріалів
Адреса викладання дисципліни	Львівський національний факультет імені Івана Франка, 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
Викладачі дисципліни	Королишин Андрій Володимирович, кандидат фізико-математичних наук, доцент, доцент кафедри фізики металів
Контактна інформація викладачів	andrykorol@gmail.com , andriy.korolyshyn@lnu.edu.ua https://physics.lnu.edu.ua/employee/andrij-korolyshyn
Консультації 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.
Сторінка дисципліни	https://physics.lnu.edu.ua/course/suchasni-metody-doslidzhennya-struktury-materialiv-fizyka
Інформація про дисципліну	«Сучасні методи дослідження структури матеріалів» є нормативною дисципліною для підготовки магістрів за спеціальністю 104 «Фізика та астрономія» для другого (магістерського) рівня вищої освіти, яка викладається в III семестрі в обсязі 3 кредити (за Європейською Кредитно-Трансферною Системою ECTS).
Коротка анотація дисципліни	Дану дисципліну розроблено таким чином, щоб надати здобувачам освіти відповідні теоретичні знання, уміння, навички, загальні та фахові компетентності для продукування нових ідей, розв'язання комплексних проблем у галузі дослідження структури матеріалів. Тому у курсі представлені відповідні теоретичні дані та передбачене виконання лабораторних робіт.
Мета та цілі дисципліни	Метою даної дисципліни є дати знання майбутнім магістрам про новітні X-променеві, електронно- та нейтронографічні методи дослідження структури матеріалів. Навчити майбутніх спеціалістів володіти сучасними методами високоенергетичної спектроскопії для встановлення реальної атомної будови неорганічних матеріалів. Навчити студентів самостійно виконувати розрахунки, необхідні для розв'язування задач дослідження структури матеріалів, забезпечити отримання практичних навиків роботи з вимірювальною апаратурою, навчити інтерпретувати отримані експериментальні та теоретично розраховані результати.
Література для вивчення дисципліни	Базова: <ol style="list-style-type: none"> 1. В. П. Казіміров, Е. Б. Русанов. Рентгенографія кристалічних матеріалів : навч. посіб. / – К. : ВПЦ "Київський університет", 2016. – 287 с. 2. О.О.Балицький, О.Г. Миколайчук. Дифракція електронів для дослідження структури матеріалів. Львів, Вид. центр ЛНУ.-2006.-62с. 3. Миколайчук О.Г., Когут О.М. Практикум з електроннографії. Львів. 1977. - 112с. 4. О.Я. Тузяк, В.Ю. Курляк. Основи електронної та зондової мікроскопії: навч. посібник/ Львів : ЛНУ імені Івана Франка, 2012.-296 с. 5. Rene Guinebretiere X-ray Diffraction by Polycrystalline Materials Hermes Science, 2007 6. R.E. Gladyshevskii, Methods to Determine Crystal Structures, TextBook, Publishing Center of Ivan Franko National University of Lviv, Lviv, 2015. - 135p. 7. Vitalij K. Pecharsky, Peter Y. Zavalij Fundamentals of powder diffraction and structural characterization of materials. Springer 2005. -713p.

	<p>8. I. Shcherba. High-Energy Spectroscopy of Compounds. Textbook. Publishing Center of Ivan Franko National University of Lviv, Lviv, 2018. - 304p.</p> <p>9. І. Д. Щерба. Високоенергетична спектроскопія матеріалів. Навчальний посібник. Львів: Видавничий центр ЛНУ ім. Івана Франка, 2012. –248с.</p> <p>Допоміжна:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Г. П. Кушта Рентгенографія металів Видавництво Львівського університету, 1959. - 386с. 2. M. Kuno. Introduction to nanoscience and nanotechnology: A workbook, Notre Dame, 2004. - 246p. <p>Додаткові матеріали також буде запропоновано для кожної теми окремо.</p> <p>Інформаційні ресурси:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Національна бібліотека України імені Володимира Вернадського 2. Львівська національна наукова Бібліотека України імені Василя Стефаника 3. Наукова бібліотека Львівського національного університету імені Івана Франка 4. Вікіпедія
Тривалість курсу	Один семестр
Обсяг курсу	90 годин, з яких 32 години аудиторних занять, з них 16 годин лекцій, 16 годин лабораторних робіт та 58 годин самостійної роботи
Очікувані результати навчання	<p>В результаті вивчення даної дисципліни студент повинен знати: основи теорії дифракції рентгенівських променів на досконалих кристалічних ґратках; основні методи дослідження структури (рентгеноструктурний, рентгеноспектральний, електроннографічний, електроннооптична мікроскопія, растрова електронна мікроскопія, термоелектронна емісійна мікроскопія та автоіонна мікроскопія); принципи роботи сучасних приладів для структурного аналізу; теоретичні та практичні можливості сучасних методів аналізу, актуальні проблеми і перспективи їх розвитку; практичне використання сучасних методів дослідження структури матеріалів; знати методики приготування зразків для досліджень структури матеріалів.</p> <p>вміти: грамотно обирати необхідні сучасні методи дослідження структури матеріалів; використовувати сучасні методи для вирішення питань контролю якості матеріалів; проводити якісний та кількісний аналіз із відповідною обробкою результатів; вірно визначитися в одержаних кристалографічних характеристиках матеріалів; визначати хімічний склад структурних складових і розподілення хімічних елементів; розшифровувати інформацію, отриману на приладах досліджень матеріалів та грамотно її використовувати при аналізі результатів.</p> <p>В результаті успішного проходження курсу студент набуде такі <i>загальні компетентності:</i></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). та <i>спеціальні (фахові) компетентності:</i></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);</p>

	<p>здатність презентувати результати проведених досліджень, а також сучасні концепції у фізиці та/або астрономії фахівцям і нефахівцям (СК03);</p> <p>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);</p> <p>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);</p> <p>здатність ефективно використовувати на практиці сучасні теорії методи управління наукою та ділового адміністрування (СК09);</p> <p>здатність використовувати фізичну апаратуру та обладнання (СК11);</p> <p>здатність обирати відповідні методи фізичного аналізу для вузьконапрявленого вивчення конкретних об'єктів досліджень (СК12);</p> <p>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 програмні результати навчання:</p> <p>обирати і використовувати відповідні методи обробки та аналізу даних фізичних та/або астрономічних досліджень і оцінювання їх достовірності (РН04);</p> <p>обирати ефективні математичні методи та інформаційні технології та застосовувати їх для здійснення досліджень та/або інновацій у галузі фізики та/або астрономії (РН06);</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 (РН10);</p> <p>застосовувати теорії, принципи і методи фізики та/або астрономії для розв'язання складних міждисциплінарних наукових і прикладних задач (РН11);</p> <p>створювати фізичні, математичні і комп'ютерні моделі природних об'єктів та явищ, перевіряти їх адекватність, досліджувати їх для отримання нових висновків та поглиблення розуміння природи, аналізувати обмеження (РН13);</p> <p>планувати наукові дослідження з урахуванням цілей та обмежень, обирати ефективні методи дослідження, робити обґрунтовані висновки, за результатами дослідження (РН15);</p> <p>брати продуктивну участь у виконанні експериментальних та/або теоретичних досліджень у галузі фізики та астрономії (РН16);</p> <p>застосовувати спеціальну фізичну апаратуру й обладнання для вимірювання фізичних величин (РН17);</p> <p>проводити стандартні експерименти з досліджень структури та властивостей кристалічних, аморфних, рідких і наносистем (РН18);</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 (РН19);</p> <p>дотримуватися вимог безпеки життєдіяльності й охорони праці під час експлуатації лабораторного обладнання (РН20).</p>
Ключові слова	Структура, дифракція, рентгенографія, електронографія, нейтронографія, EXAFS – спектроскопія, високоенергетична спектроскопія
Формат курсу	Очний: проведення лекцій, лабораторних занять та консультації для кращого розуміння тем

Теми	Наведено у таблиці 1						
Підсумковий контроль, форма	Залік в кінці III семестру						
Пререквізити	Для вивчення курсу студенти повинні знати основні закони та поняття з курсів загальної фізики (механіки, молекулярної фізики, електрики, оптики та атомної фізики) та деяких більш спеціалізованих курсів (фізика твердого тіла, спектроскопія атомів, молекул і кристалів, мікроскопія, кристалографія, фізика неупорядкованих систем). Вміти застосовувати, набуті раніше, знання з програмування та комп'ютерного моделювання для оволодіння новими програмними пакетами. Володіти навиками пошуку та опрацювання спеціалізованої літератури в мережі Інтернет та наукометричних базах даних.						
Навчальні методи та техніки, які будуть використовуватися під час викладання курсу	Використовуються такі методи навчання: а) <i>словесні</i> – лекція, пояснення, бесіда, інструктаж (вступний та поточний) під час виконання лабораторних робіт; б) <i>наочні</i> – ілюстрування лекційного матеріалу таблицями, схемами та графіками; в) <i>практичні</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 різноманітних об'єктів.						
Необхідне обладнання	Персональні комп'ютери, операційні системи (Windows, Linux), загальнозживані комп'ютерні програми, спеціалізовані комп'ютерні програми для моделювання структури та властивостей кристалів, X-променевий дифрактометр, електронний мікроскоп, малокутовий дифрактометр, проектор та екран.						
Критерії оцінювання (окремо для кожного виду навчальної діяльності)	<p>Оцінювання проводиться за 100-бальною шкалою. Для перевірки знань, умінь і навичок студентів при вивченні навчальної дисципліни використовуються поточний та підсумковий контроль.</p> <p>Поточний контроль включає в себе оцінювання лабораторних робіт студентів. Слід виконати 4 роботи, які передбачають самопідготовку, виконання роботи в лабораторії, необхідні обчислення отриманих результатів, підготовку звіту та його усний захист. Максимальна оцінка за кожну роботу – 25 балів.</p> <table border="1" data-bbox="470 1400 1428 2094"> <thead> <tr> <th>Бали</th> <th>Критерії оцінювання</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>25-23</td> <td>Здобувач 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. Допускаються деякі неточності у формулюваннях відповідей або при технічному оформленні звіту. Більш високим рівнем вважається виконання роботи (за можливості) за самостійно складеним оригінальним планом і обґрунтування його вибору.</td> </tr> <tr> <td>22-19</td> <td>Студент провів експеримент відповідно до ходу роботи, обробив з деякими математичними помилками математично результати експерименту або не повністю обробив, склав письмовий звіт з виконання роботи, при оформленні допущено помилки, самостійно робить висновки, на захисті продемонстрував достатній рівень знань.</td> </tr> </tbody> </table>	Бали	Критерії оцінювання	25-23	Здобувач 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. Допускаються деякі неточності у формулюваннях відповідей або при технічному оформленні звіту. Більш високим рівнем вважається виконання роботи (за можливості) за самостійно складеним оригінальним планом і обґрунтування його вибору.	22-19	Студент провів експеримент відповідно до ходу роботи, обробив з деякими математичними помилками математично результати експерименту або не повністю обробив, склав письмовий звіт з виконання роботи, при оформленні допущено помилки, самостійно робить висновки, на захисті продемонстрував достатній рівень знань.
Бали	Критерії оцінювання						
25-23	Здобувач 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. Допускаються деякі неточності у формулюваннях відповідей або при технічному оформленні звіту. Більш високим рівнем вважається виконання роботи (за можливості) за самостійно складеним оригінальним планом і обґрунтування його вибору.						
22-19	Студент провів експеримент відповідно до ходу роботи, обробив з деякими математичними помилками математично результати експерименту або не повністю обробив, склав письмовий звіт з виконання роботи, при оформленні допущено помилки, самостійно робить висновки, на захисті продемонстрував достатній рівень знань.						

18-16	Студент провів експеримент відповідно до ходу роботи, не повністю обробив результати експерименту, склав письмовий звіт з виконання роботи, де допущені помилки з оформлення й обрахунків, зробив неповний висновок, на захисті продемонстрував середній рівень знань.
15-13	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.
12-1	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	Здобувач не представив до захисту звіт з відповідної тематичної лабораторної роботи.

У разі відсутності студента під час проведення лабораторних занять з поважних причин йому надається право на відпрацювання. У всіх інших випадках відсутність здобувача на лабораторних заняттях автоматично зараховується йому як незадовільна оцінка (0 балів) за відповідну тематичну лабораторну роботу. 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.

Підсумковий контроль здійснюється на основі накопичених балів протягом семестру в процесі поточного контролю. Підсумкова максимально можлива 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.

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 літературу, 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 поточному контролі. При цьому обов'язково враховуються присутність на заняттях та активність студента під час практичного заняття; недопустимість пропусків та запізнь на заняття; користування мобільним телефоном,

	планшетом чи іншими мобільними пристроями під час заняття в цілях не пов'язаних з навчанням; списування та плагіат; несвоєчасне виконання поставленого завдання і т. ін. Жодні форми академічної недоброчесності не толеруються.
Опитування	Анкету-оцінку з метою оцінювання якості курсу буде надано по завершенню курсу.

Таблиця 1

Схема курсу «Сучасні методи дослідження структури матеріалів»

Тиж день	Назва теми	Форма діяльності та обсяг годин	Літ-ра	Завдання	Термін виконання
1-2	Тема 1. Вступ. Дифракційний структурний аналіз як метод визначення атомної структури речовини. Порівняння рентгено-, електронно-, нейтронографічних методів.	Лекція – 2 год., лабор. робота – 2 год., самостійна робота – 5 год	Б: 1, 2 Д: 1	Опрацювати матеріали лекції та рекомендовану літературу Підготовка до лабораторної роботи	2 тижні
3-4	Тема 2. Фізика рентгенівських променів, характеристичний і суцільний спектри, поглинання і розсіяння рентгенівських променів близько і далі від краю поглинання. Генератори рентгенівського випромінювання (рентгенівський апарат, рентгенівська трубка, синхротрон). Типова апаратура для РСА досліджень. Основні характеристики рентгенівських камер і дифрактометрів. Основні методи РСА.	Лекція – 2 год., лабор. робота – 2 год., самостійна робота – 5 год	Б: 2, 3,8,9 Д: 1	Опрацювати матеріали лекції та рекомендовану літературу Підготовка до лабораторної роботи	2 тижні
5-6	Тема 3. Електроннографія матеріалів. Проблеми розвитку газової електроннографії. Будова і принцип роботи сучасних електронних мікроскопів.	Лекція – 2 год., лабор. робота – 2 год., самостійна робота – 8 год	Б: 2, 4 Д:2	Опрацювати матеріали лекції та рекомендовану літературу Підготовка до лабораторної роботи Підготовка до захисту лабораторних робіт	2 тижні
7-8	Тема 4. Структурна нейтронографія. Особливості застосування нейтронографії.	Лекція – 2 год., лабор. робота – 2 год., самостійна робота – 8 год	Б:3, 4 Д:1	Опрацювати матеріали лекції та рекомендовану літературу Підготовка до лабораторної роботи Підготовка до захисту лабораторних робіт	2 тижні
9-10	Тема 5. Дослідження структури неупорядкованих систем дифракційними методами.	Лекція – 2 год., лабор. робота – 2 год.,		Опрацювати матеріали лекції та рекомендовану літературу	

	Структурний фактор, функції радіального розподілу.	самостійна робота – 8 год	Б: 4, 5 Д: 2	Підготовка до лабораторної роботи Підготовка до захисту лабораторних робіт	2 тижні
11-12	Тема 6. Структура речовини і малокутова дифракція. Основні принципи малокутової дифракції. Принципи побудови малокутових установок.	Лекція – 2 год., лабор. робота – 2 год., самостійна робота – 8 год	Б:5, 6 Д:1	Опрацювати матеріали лекції та рекомендовану літературу Підготовка до лабораторної роботи Підготовка до захисту лабораторних робіт	2 тижні
13-14	Тема 7. Сучасні методи високоенергетичної спектроскопії для встановлення реальної атомної будови неорганічних матеріалів. Фізичні основи EXAFS - спектроскопії – нового методу структурного аналізу. Методи вивчення атомної структури речовини згідно EXAFS – спектрів.	Лекція – 2 год., лабор. робота – 2 год., самостійна робота – 8 год	Б:5, 6,8,9 Д:2	Опрацювати матеріали лекції та рекомендовану літературу Підготовка до лабораторної роботи Підготовка до захисту лабораторних робіт	2 тижні
15-16	Тема 8. Основи скануючої зондової мікроскопії. Принцип роботи скануючих зондових мікроскопів. Методи скануючої зондової мікроскопії. Основні види СЗМ: скануюча тунельна мікроскопія, атомно-силова мікроскопія, електросилова мікроскопія, магнітосилова мікроскопія.	Лекція – 2 год., лабор. робота – 2 год., самостійна робота – 8 год	Б: 6, 7 Д : 2	Опрацювати матеріали лекції та рекомендовану літературу Підготовка до лабораторної роботи Підготовка до захисту лабораторних робіт	2 тижні