

**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**  
**«Фізична кристалографія»,**  
**що викладається в межах ОНП «Експериментальна фізика»**  
**другого (магістерського) рівня вищої освіти**  
**для здобувачів зі спеціальності 104 «Фізика та астрономія»**

**Львів 2023**

<b>Назва дисципліни</b>	Фізична кристалографія
<b>Адреса викладання дисципліни</b>	вул. Кирила і Мефодія 8, 79005, м. Львів
<b>Факультет та кафедра, за якою закріплена дисципліна</b>	Фізичний факультет, кафедра фізики металів
<b>Галузь знань, шифр та назва спеціальності</b>	Галузь знань – 10 Природничі науки Спеціальність – 104 Фізика та астрономія
<b>Викладачі дисципліни</b>	Лектор: Королишин Андрій Володимирович, доцент, доцент кафедри фізики металів, кандидат фізико-математичних наук; лабораторні заняття проводить: Присяжнюк Віктор Іванович, асистент кафедри фізики металів.
<b>Контактна інформація викладачів</b>	andriy.korolyshyn@lnu.edu.ua <a href="https://physics.lnu.edu.ua/employee/andrij-korolyshyn">https://physics.lnu.edu.ua/employee/andrij-korolyshyn</a> viktor.prysyazhnyuk@lnu.edu.ua <a href="https://physics.lnu.edu.ua/employee/prysyazhnyuk">https://physics.lnu.edu.ua/employee/prysyazhnyuk</a>
<b>Консультації по дисципліні відбуваються</b>	Консультації в день проведення лекцій та лабораторних занять (за попередньою домовленістю). Також можливі консультації через електронну пошту або он-лайн засобами Microsoft Teams, Telegram.
<b>Сторінка дисципліни</b>	<a href="https://physics.lnu.edu.ua/course/fizyczna-krystalohrafiia-104-fizyka-ta-astronomiia-op-eksperymentalna-fizyka">https://physics.lnu.edu.ua/course/fizyczna-krystalohrafiia-104-fizyka-ta-astronomiia-op-eksperymentalna-fizyka</a>
<b>Інформація про дисципліну</b>	«Фізична кристалографія» є нормативною дисципліною для підготовки магістрів за спеціальністю 104 «Фізика та астрономія» для другого (магістерського) рівня вищої освіти, яка викладається в 1 семестрі в обсязі 4 кредитів (за Європейською Кредитно-Трансферною Системою ECTS).
<b>Коротка анотація дисципліни</b>	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 кристалографії. Тому у курсі представлені відповідні теоретичні дані та передбачене виконання лабораторних робіт.
<b>Мета та цілі дисципліни</b>	Метою даної дисципліни є дати знання майбутнім магістрам про кристалічну будову та властивості матеріалів; залежність зовнішньої форми кристалів від внутрішнього розміщення частинок; симетрію кристалів, класи симетрії, види симетрії; форму кристалів, розміщення атомів в елементарній комірці; ґратки Браве; взаємодію між частинками; дифракцію х-променів; формули структурної кристалографії; дефекти в кристалах; анізотропію фізичних властивостей; вирощування кристалів. Навчити студентів самостійно виконувати розрахунки і побудови, необхідні для розв'язування задач фізичної кристалографії.
<b>Література для вивчення дисципліни</b>	<b>Базова:</b> 1. Фодчук І. М., Ткач О.О. Основи кристалографії. Чернівці. 2006. - 108 с. 2. Пчелінцев В.О. Кристалографія, кристалохімія та мінералогія. Суми. 2008. -226 с. 3. Бірюкович Л.О. Кристалографія, кристалохімія та мінералогія. Підручник. КПІ ім. Ігоря Сікорського. Київ. 2018. -234 с. <b>Допоміжна:</b> 4. Словотенко Н.О., Бакуменко І.Т. Геометрична кристалографія. Ч.1: Навчальний посібник. ЛНУ імені Івана Франка, 2015. -96 с. 5. Словотенко Н.О., Бакуменко І.Т. Геометрична кристалографія.

	<p>Ч.2: Навчальний посібник. ЛНУ імені Івана Франка, 2015. -88 с.          б. Словотенко Н.О., Бакуменко І.Т. Геометрична кристалографія.          Ч.3: Навчальний посібник. ЛНУ імені Івана Франка, 2015. -56 с.          7. Колінько С.О., Бутенко Т.І., Ващенко В.А. Конспект лекцій з дисципліни «Кристалографія». ЧДТУ. Черкаси. 2020. -99 с.</p> <p>Додаткові матеріали також буде запропоновано для кожної теми окремо.</p> <p><b>Інформаційні ресурси:</b></p> <p>Crystal Lattice Structures:  <a href="http://physics.lnu.edu.ua/conferences/kryst/Space.htm">http://physics.lnu.edu.ua/conferences/kryst/Space.htm</a>  <a href="http://physics.lnu.edu.ua/conferences/kryst/Prototype.htm">http://physics.lnu.edu.ua/conferences/kryst/Prototype.htm</a>  <a href="http://physics.lnu.edu.ua/conferences/kryst/Pearson.htm">http://physics.lnu.edu.ua/conferences/kryst/Pearson.htm</a>  <a href="http://physics.lnu.edu.ua/conferences/kryst/Strukturbercht.htm">http://physics.lnu.edu.ua/conferences/kryst/Strukturbercht.htm</a></p> <p>American Mineralogist Crystal Structure Database:  <a href="http://rruff.geo.arizona.edu/AMS/amcsd.php">http://rruff.geo.arizona.edu/AMS/amcsd.php</a></p> <p>Структурна база COD+:  <a href="https://crystallography.io/">https://crystallography.io/</a></p> <p>Crystallography Open Database:  <a href="http://www.crystallography.net/cod/">http://www.crystallography.net/cod/</a>  <a href="https://nanocrystallography.org/">https://nanocrystallography.org/</a></p> <p>Кембріджська кристалографічна база даних:  <a href="https://www.ccdc.cam.ac.uk/">https://www.ccdc.cam.ac.uk/</a></p> <p>Програма «PowderCell»:  <a href="https://www.iucr.org/resources/other-directories/software/powder-cell">https://www.iucr.org/resources/other-directories/software/powder-cell</a></p> <p>Програма «Diamond»  <a href="https://www.crystalimpact.com/diamond/">https://www.crystalimpact.com/diamond/</a></p> <p>Програмний пакет GASP:  <a href="https://github.com/henniggroup/gasp">https://github.com/henniggroup/gasp</a></p> <p>Програмний пакет CALYPSO:  <a href="http://www.calypso.cn/">http://www.calypso.cn/</a></p>
<b>Тривалість курсу</b>	Один семестр
<b>Обсяг курсу</b>	120 годин, з яких 32 годин аудиторних занять (з них 16 годин лекцій, 16 годин лабораторних робіт) та 88 годин самостійної роботи
<b>Очікувані результати навчання</b>	<p>В результаті вивчення даної дисципліни студент повинен:</p> <p><b>знати:</b></p> <p>Кристалографічні проекції, прості і складні елементи симетрії, додавання елементів симетрії, розміщення частинок в кристалічній ґратці і взаємодію між ними, типи упаковки, фазові структурні переходи, поліморфізм, ізоморфізм, основні типи структур, тверді розчини, хімічні сполуки, гетеро сплави, залежність фізичних властивостей від розміщення частинок в елементарній комірці.</p>

вміти:

Описувати зовнішню форму кристалів, будувати кристалографічні проекції граней, ребер та елементів симетрії; за елементами симетрії визначати енергію кристалу, знаходити зв'язок між експериментальними даними з дифракції рентгенівських променів з розміщенням атомів в елементарній комірці, визначити кількість частинок в елементарній комірці, їх просторове розміщення для основних структурних типів.

Вміти застосовувати структурні формули кристалографії для визначення фазового складу речовини, параметри кристалічної ґратки, знаходити зв'язок між параметрами прямої і оберненої ґратки.

Вміти використовувати знання структури для пояснення фізичних властивостей матеріалів.

В результаті успішного проходження курсу студент набуде такі загальні компетентності:

- 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 спеціальні (фахові) компетентності:

- 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 використовувати фізичну апаратуру та обладнання (СК11);
- здатність виявляти й інтерпретувати основні закономірності поведінки фізичних величин і процесів, ґрунтуючись на одержаних експериментальних даних (СК13).

Після засвоєння навчальної дисципліни студенти мають продемонструвати такі програмні результати навчання:

обирати і використовувати відповідні методи обробки та аналізу даних фізичних та/або астрономічних досліджень і оцінювання їх достовірності (РН04);

обирати ефективні математичні методи та інформаційні технології та застосовувати їх для здійснення досліджень та/або інновацій у галузі фізики та/або астрономії (РН06);

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>розробляти та застосовувати ефективні алгоритми та спеціалізоване програмне забезпечення для дослідження моделей фізичних та/або астрономічних об'єктів і процесів, обробки результатів експериментів і спостережень (PH12);</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 x-променевої дифракції, люмінесцентної й оптичної спектроскопії, моделювання, електронної мікроскопії, термічного аналізу (PH19).</p>				
<b>Ключові слова</b>	Кристалографія, кристал, симетрія, ґратка Браве, елементарна комірка, структура, дефект, анізотропія, грань, ребро, вершина				
<b>Формат курсу</b>	Очний				
	Проведення лекцій, лабораторних занять та консультації для кращого розуміння тем				
<b>Теми</b>	Наведено у таблиці 1				
<b>Підсумковий контроль, форма</b>	Залік в кінці 1-го семестру.				
<b>Пререквізити</b>	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). Вміти застосовувати, набуті раніше, знання з програмування та комп'ютерного моделювання для оволодінням новими програмним пакетами. Володіти навиками пошуку та опрацювання спеціалізованої літератури в мережі Інтернет та науко-метричних базах даних.				
<b>Навчальні методи та техніки, які будуть використовуватися під час викладання курсу</b>	<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 таблицями, схемами та графіками;</p> <p>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.</p>				
<b>Необхідне обладнання</b>	Тривимірні кристалографічні моделі, персональні комп'ютери, операційні системи (Windows, Linux), загальноновживані комп'ютерні програми, спеціалізовані комп'ютерні програми для моделювання структури та властивостей кристалів, проектор та екран.				
<b>Критерії оцінювання (окремо для кожного виду навчальної діяльності)</b>	<p><b>Оцінювання</b> проводиться за 100-бальною шкалою. Для перевірки знань, умінь і навичок студентів при вивченні навчальної дисципліни використовуються поточний та підсумковий контроль.</p> <p><b>Поточний контроль</b> включає в себе оцінювання лабораторних робіт студентів. Слід виконати 5 робіт, які передбачають самопідготовку, виконання роботи в лабораторії, необхідні обчислення отриманих результатів, написання звіту та усний захист. Максимальна оцінка за кожну роботу – 20 балів.</p> <p style="text-align: center;"><b>Шкала оцінювання лабораторної роботи</b></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 15%;">Бали</th> <th>Критерії оцінювання</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">20-18</td> <td>Студент самостійно провів експеримент відповідно до</td> </tr> </tbody> </table>	Бали	Критерії оцінювання	20-18	Студент самостійно провів експеримент відповідно до
Бали	Критерії оцінювання				
20-18	Студент 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 тематики лабораторної роботи. Допускаються незначні неточності у формулюваннях відповідей або при оформленні звіту. Більш високим рівнем вважається виконання роботи (за можливості) за самостійно складеним оригінальним планом і обґрунтування його вибору.
17-16	Студент самостійно провів експеримент відповідно до ходу роботи, грамотно обробив результати експерименту. Склавши письмовий звіт з виконання роботи, зробив обґрунтований висновок. На захисті продемонстрував достатній рівень знань з тематики лабораторної роботи. Допускаються незначні неточності у формулюваннях відповідей або при оформленні звіту.
15-14	Студент самостійно провів експеримент відповідно до ходу роботи, обробив математично результати експерименту з певними неточностями, склав письмовий звіт з виконання роботи, при оформленні допущено помилки, самостійно робить висновки, на захисті продемонстрував достатній рівень знань.
13-12	Студент самостійно провів експеримент відповідно до ходу роботи, обробив з деякими математичними помилками результати експерименту, склав письмовий звіт з виконання роботи, де допущені помилки з оформлення, зробив неповний висновок, на захисті продемонстрував задовільний рівень знань.
11-10	Студент виконав експеримент частково з допомогою лаборанта/викладача 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.
9-1	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

	<p>роботу здобувача, куди входить написання тез, статей, участь у міжнародних, всеукраїнських та/або інших заходах або конкурсах за тематикою навчальної дисципліни за умови, що загальне число набраних балів не перевищуватиме 100.</p> <p><b>Підсумковий контроль</b> здійснюється на основі накопичених балів протягом семестру в процесі поточного контролю. Підсумкова максимально можлива кількість балів – 100.</p> <p><b>Академічна доброчесність</b> 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.</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 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.</p> <p><b>Жодні форми академічної недоброчесності не толеруються.</b></p>
<p><b>Опитування</b></p>	<p>Анкету-оцінку з метою оцінювання якості курсу буде надано по завершенню курсу.</p>

## Схема курсу «Фізична кристалографія»

Тижні	Тема занять (перелік питань)	Форма діяльності та обсяг годин	Література та ресурси в Інтернеті	Завдання	Термін викон.
1-2	Тема 1. Предмет кристалографії. Розвиток кристалографії в Україні та Львівському Університеті. Структура твердих тіл. Загальні характеристики кристалічних твердих тіл.	Лекція – 2 год. Лабор. робота – 2 год. Самост. робота – 11 год.	Б – 1, 2 Д – 4, 5	Підготовка до лаб. роботи.	2 тижні
3-4	Тема 2. Зовнішня форма кристалів. Зв'язок зовнішньої форми з внутрішньою будовою. Кристалічний багатогранник. Прості і складні зовнішні форми кристалів. Закон цілих чисел.	Лекція – 2 год. Лабор. робота – 2 год. Самост. робота – 11 год.	Б – 1, 3 Д – 5, 6	Підготовка до лаб. роботи.	2 тижні
5-6	Тема 3. Елементи симетрії кристалів. Прості. Складні. Взаємодія елементів симетрії. 32 види симетрії. Індеси Мілера, параметри Вейса. Закон сталості кутів.	Лекція – 2 год. Лабор. робота – 2 год. Самост. робота – 11 год.	Б – 1, 2 Д – 4, 6	Підготовка до лаб. роботи.	2 тижні
7-8	Тема 4. Періодична будова кристалів. Кристалографічні проекції. Плоскі сітки. Сітки Вульфа. Зв'язок між сферичною, стереографічної і гномонічною проекціями.	Лекція – 2 год. Лабор. робота – 2 год. Самост. робота – 11 год.	Б – 1, 2 Д – 6, 7	Підготовка до лаб. роботи.	2 тижні
9-10	Тема 5. Формули структурної кристалографії. Міжплощинні віддалі. Пряма і обернена ґратки.	Лекція – 2 год. Лабор. робота – 2 год. Самост. робота – 11 год.	Б – 2,3 Д – 5, 6, 7	Підготовка до лаб. роботи.	2 тижні
11-12	Тема 6. Точкові і Лауевські групи симетрії. Класифікація точкових груп.	Лекція – 2 год. Лабор. робота – 2 год. Самост. робота – 11 год.	Б – 1, 3 Д – 4, 5	Підготовка до лаб. роботи.	2 тижні
13-14	Тема 7. Основні структурні типи кристалів. Політинізм, поліморфізм, ікосаедричні структури.	Лекція – 2 год. Лабор. робота – 2 год. Самост. робота – 11 год.	Б – 1, 2 Д – 5, 7	Підготовка до лаб. роботи.	2 тижні
15-16	Тема 8. Кристалографія наноструктур. Елементарні комірки карбонових нанотрубок, фулеренів та квазікристалів.	Лекція – 2 год. Лабор. робота – 2 год. Самост. робота – 11 год.	Б – 2, 3 Д – 5, 6	Підготовка до лаб. роботи.	2 тижні