



ДИФРАКЦІЙНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ НАНОМАТЕРІАЛІВ

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	<i>Другий (магістерський)</i>
Галузь знань	<i>Механічна інженерія¹</i>
Спеціальність	<i>G8 Матеріалознавство</i>
Освітня програма	<i>Матеріалознавство</i>
Статус дисципліни	<i>Вибіркова</i>
Форма навчання	<i>очна(денна) /дистанційна</i>
Рік підготовки, семестр	<i>1 курс, весняний семестр</i>
Обсяг дисципліни	<i>4 кредити ECTS / 120 годин, лекцій – 30 годин, лабораторних занять – 14 годин, СРС – 76 годин</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>залік / МКР</i>
Розклад занять	<i>http://roz.kpi.ua</i>
Мова викладання	<i>Українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектор: доктор технічних наук, професор, Юркова Олександра Іванівна, e-mail: yurkova2403@gmail.com ² Лабораторні: доктор технічних наук, професор, Юркова Олександра Іванівна, e-mail: yurkova2403@gmail.com
Розміщення курсу	

Програма навчальної дисципліни

1. Опис навчальної дисципліни, її мета, предмет вивчення та результати навчання

Навчальна дисципліна належить до переліку вибіркових освітніх компонент освітньої програми (ОНП) підготовки другого (магістерського) рівня вищої освіти «Матеріалознавство» 2025 року за спеціальністю «Матеріалознавство».

Предметом вивчення навчальної дисципліни є особливості формування дифракційних картин наноматеріалів, отриманих різними методами, та визначення на їх основі якісного та кількісного фазового складу, кристалічної структури, параметрів кристалічної ґратки, розмірів елементів структури, мікродеформацій кристалічної ґратки, щільності дислокацій, структурних перетворень в наноматеріалах на різних стадіях їх отримання.

Вивчення навчальної дисципліни надає здобувачу можливість ознайомитися з сучасним рівнем наукових досліджень в області дифракційних методів дослідження наноматеріалів, поглибити професійну підготовку в межах спеціальності та освітньої програми, здобути

¹ В полях Галузь знань/Спеціальність/Освітня програма:

Для дисциплін професійно-практичної підготовки зазначається інформація відповідно до навчального плану. Для соціально-гуманітарних дисциплін вказується перелік галузей, спеціальностей, або «для всіх».

² Електронна пошта викладача або інші контакти для зворотного зв'язку, можливо зазначити прийомні години або години для комунікації у разі зазначення контактних телефонів. Для силабусу дисципліни, яку викладає багато викладачів (наприклад, історія, філософія тощо) можна зазначити сторінку сайту де представлено контактну інформацію викладачів для відповідних груп, факультетів, інститутів.

додаткові результати навчання. Цю дисципліну варто вчити для того, щоб стати конкурентоспроможним фахівцем. Дифракційні методи – це прямі методи дослідження, що дають найбільш об'єктивну інформацію про атомно-кристалічну будову твердого тіла. Володіючи цими методами, студент стає фахівцем, здатним вирішувати задачі встановлення взаємозв'язку між елементним складом, внутрішньою будовою та різноманітними властивостями наноматеріалів.

Метою навчальної дисципліни є підсилення у здобувачів вищої освіти компетентностей у відповідності до ОНП «Матеріалознавство», 2025 року, а саме:

- здатність уявляти особливості формування дифракційних картин наноматеріалів, отриманих різними методами із застосуванням електромагнітного випромінювання, та визначати на їх основі фазовий склад, структурний стан, розміри частинок, зерен, кристалітів, тонку структуру (розмір блоків, величину мікродеформацій кристалічної ґратки, щільність дислокацій);
- здатність отримати інформацію про структуру речовини в наноструктурному стані з дифракційних спектрів електромагнітного випромінювання;
- здатність обґрунтовано та аргументовано обирати сучасні методи та засоби аналізу і контролю структури, фазового та хімічного складу наноматеріалів і виробів з них;
- здатність застосовувати сучасні дифракційні методики контролю структурних змін в наноматеріалах на різних стадіях їх отримання;
- здатність проводити наукові експериментальні дослідження структури наноматеріалів; аналізувати, систематизувати та представляти результати досліджень;
- здатність працювати із дослідницьким устаткуванням, застосовуючи сучасні методи і методики експерименту у лабораторних та виробничих умовах для вирішення завдань в галузі матеріалознавства;
- здатність проводити дослідження структури композитів і покриттів із наноматеріалів методами дифракційного експерименту із розумінням фізичної сутності, можливостей методів та критичним аналізом результатів;
- здатність проводити дослідницькі роботи, стандартизацію, сертифікацію наноматеріалів та виробів на підставі базових знань
- здатність збирати, обробляти, аналізувати та систематизувати науково-технічну інформацію щодо тематиці дослідження, використати досягнення вітчизняної та зарубіжної науки, техніки та технології;
- здатність аналізувати та систематизувати результати досліджень, обробляти та подавати матеріали у вигляді наукових звітів, публікацій, презентацій.

Студенти мають продемонструвати знання, що поглиблюють результати навчання:

- теоретичних та фізичних основ дифракційних методів аналізу речовини у наностані;
- фізичних принципів та сутності явищ, на яких засновані методи дифракційного аналізу та контролю наноматеріалів;
- особливостей розсіювання електромагнітного випромінювання атомами речовини, теоретичних основ дифракційних методів дослідження фазового складу, атомно-кристалічної структури та дефектів кристалічної будови наноматеріалів; впливу розмірів кристалітів на формування картини розсіювання електромагнітного випромінювання;
- можливостей та особливостей основних методів дифракційного експерименту для дослідження наноматеріалів, а також їх точності, чутливості та локальності;
- сучасних експериментальних методів та приладів дослідження структури наноматеріалів, умови реалізації та границі застосування методів;
- основних розрахункових методик обробки результатів дифракційного експерименту.

студенти повинні уміти:

- здійснювати адекватний завданням вибір експериментальних методів дослідження наноструктурного стану речовини, фазового складу, розміру структурних елементів, недосконалостей структури;
- користуватися основними поняттями, теоретичними та фізичними основами дифракційних методів дослідження речовини;

- застосовувати сучасні дифракційні методи дослідження, визначення, контролю основних параметрів структури наноматеріалів, обробки та аналізу експериментальних даних, систематизації науково-технічної інформації;
- ставити та вирішувати завдання з проведення досліджень структури наноматеріалів дифракційними методами;
- критично аналізувати та коректно інтерпретувати результати досліджень;
- встановлювати зв'язок структура–властивості
- здійснювати розробку нових наноматеріалів та виробів з них з використанням сучасних методів дифракційних досліджень;
- планувати матеріалознавчі дослідження, здійснювати статистичну обробку і статистичний аналіз результатів експериментів, обґрунтовувати висновки.

2. Пререквізити та постреквізити дисципліни (місце в структурно-логічній схемі навчання за відповідною освітньою програмою)

Дисципліна базується на освітніх компонентах першого (бакалаврського) рівня вищої освіти інженерно-технічних спеціальностей.

3. Зміст навчальної дисципліни

Розділ 1. Дифракційні методи вивчення структурних особливостей наноматеріалів.

Тема 1.1. Дифракційні методи вивчення структури матеріалів та їх роль в розвитку наноматеріалів.

Тема 1.2. Елементи кристалографії. Елементарна комірка та кристалічна ґратка.

Розділ 2. Дослідження матеріалів за допомогою дифракції рентгенівського випромінювання

Тема 2.1. Фізика рентгенівського випромінювання

Тема 2.2. Теорія дифракції рентгенівських променів. Принципи основних методів рентгеноструктурного аналізу.

Тема 2.3. Теорія інтенсивності дифракційного розсіювання кристалами.

Тема 2.4. Фазовий аналіз наноматеріалів. Визначення індексів площин відбиття.

Тема 2.5. Визначення параметрів кристалічної ґратки наноматеріалів. Аналіз діаграм фазової рівноваги та типів твердих розчинів

Розділ 3. Застосування дифракції рентгенівських променів для дослідження наноматеріалів

Тема 3.1. Характеристика рентгенівських методів визначення розміру нанокристалітів/блоків/областей когерентного розсіювання. Аналіз розширення профілю рентгенівських дифракційних максимумів..

Тема 3.2. Оцінка середнього розміру нанокристалітів/блоків/областей когерентного розсіювання та мікрODEФОРМАЦІЇ кристалічної ґратки за розширенням дифракційних ліній.

Розділ 4. Застосування дифракції електронів для дослідження наноматеріалів

Тема 4.1 Електроннографічні/електронно-мікроскопічні дослідження структури наноматеріалів. Принципи електроннографічного/електронно-мікроскопічного аналізу. Взаємодія електронів з речовиною.

Тема 4.2 Формування дифракційної картини електронів, геометрія дифракційної картини. Особливості дифракційної картини наноматеріалів.

Тема 4.3 Сучасні експериментальні прилади та методи дослідження структури наноматеріалів, умови реалізації та границі застосування методів.

4. Навчальні матеріали та ресурси

Базова література

1. Рентгеноструктурний аналіз матеріалів у дисперсному стані [Текст]: навчальний посібник / уклад.: П.І. Лобода, О.П. Карасевська, І.Ю. Троснікова. – Київ: НТУУ «КПІ», 2017. – 139 с.

2. Кушта Г.П. Рентгенографія металів [Текст] / Г.П. Кушта. – Львов: Вища школа., 1979. – 386 с.

3. Структура і властивості твердого тіла [Текст]: Лабораторний практикум: навч. посібник / О.Г. Алавердова, О.В. Арінкін, О.Ф. Богданова та ін. За ред. Л.С. Палатника. – Київ: Вища школа, 1992. – 311 с.

4. Конспект лекцій.

Перераховані книги є у вільному доступі в бібліотеці КПІ ім. Ігоря Сікорського і можуть бути використані для отримання базових знань по рентгенівському аналізу дисперсних матеріалів.

Додаткова література

5. Кристалографія, кристалохімія та мінералогія [Електронний ресурс]: підручник для студ. спеціальності 132 Матеріалознавство / Л.О. Бірюкович. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 234 с. <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/25313>

6. Cullity B.D, Stock S.R. Elements of X-Ray Diffraction [Текст] / B.D, Cullity., S.R. Stock / Third Edition. – London: Pearson Education Limited, 2014. – 650 p. [https://www.eng.uc.edu/~beaucag/Courses/AdvancedMaterialsThermodynamics/Books/B.D.%20Cullity,%20S.R.%20Stock%20-%20Elements%20of%20X-Ray%20Diffraction-Pearson%20Education%20Limited%20\(2014\).pdf](https://www.eng.uc.edu/~beaucag/Courses/AdvancedMaterialsThermodynamics/Books/B.D.%20Cullity,%20S.R.%20Stock%20-%20Elements%20of%20X-Ray%20Diffraction-Pearson%20Education%20Limited%20(2014).pdf)

Рекомендується ознайомитись зі змістом вказаних базових та додаткових джерел, більш глибоко опрацювати рекомендовані викладачем розділи, що відповідають тематиці лекцій та/чи практичних занять. Для окремих розділів доцільно створити електронний конспект.

Навчальний контент

5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

5.1 Зміст лекційних занять

Розділ 1. Дифракційні методи вивчення структурних особливостей наноматеріалів.

Тема 1.1. Дифракційні методи вивчення структури матеріалів та їх роль в розвитку наноматеріалів.

Лекція 1. Вступ. Предмет, мета і завдання дисципліни. Сучасні методи дослідження структури матеріалів та їх класифікація. Дифракційні методи вивчення структури матеріалів та їх роль в розвитку наноматеріалів. (презентація).

Література [1]; [2]; [4].

Тема 1.2. Елементи кристалографії. Елементарна комірка та кристалічна ґратка.

Лекція 2. Кристалічний стан речовини. Кристалічна ґратка та елементарна комірка. Співвідношення параметрів елементарної комірки. Сингонії та категорії. Ґратки Браве. Базис та координатне число просторової ґратки. Елементи симетрії кристалічного простору та їх позначення. Міжплощинна відстань. Формули структурної кристалографії. Симетрія кристалів. (презентація)

Завдання на СРС Симетрія кристалів: Центр симетрії (центр інверсії), площина симетрії, вісь симетрії.

Література [2], [4], [5], [6].

Розділ 2. Дослідження матеріалів за допомогою дифракції рентгенівських променів

Тема 2.1. Фізика рентгенівського випромінювання.

Лекція 3. Отримання, природа та основні властивості рентгенівського випромінювання, його використання. Реєстрація рентгенівського випромінювання. Рентгенівські спектри. Безперервний спектр, його природа, властивості, закономірності та використання. Характеристичний спектр, умови виникнення, природа та особливості. Закон Мозлі для характеристичного спектру та його застосування. Вторинне характеристичне випромінювання (презентація)

Завдання на СРС Отримання та реєстрація рентгенівського випромінювання.

Література: [1]; [2]; [4]; [5]; [6].

Лекція 4. Взаємодія рентгенівського випромінювання з речовиною та явища, що виникають під час їх проходження крізь речовину. Ослаблення рентгенівських променів, лінійний та масовий коефіцієнти ослаблення. Стрибок поглинання та край смуги поглинання рентгенівських променів, природа та використання. Поглинання та розсіювання

рентгенівського випромінювання: фотоелектричний ефект, вторинне характеристичне випромінювання, оже-ефект, класичне та квантове розсіювання, виникнення електронно-позитронних пар. (презентація)

Завдання на СРС Визначення товщини покриттів за ослабленням рентгенівського випромінювання, дифрагованого матеріалом підкладки.

Література: [1]; [2]-[4]; [6].

Тема 2.2. Теорія дифракції рентгенівських променів. Принципи основних методів рентгеноструктурного аналізу.

Лекція 5. Основні рівняння дифракції рентгенівських променів: розсіювання рентгенівських променів атомним рядом, атомною площиною, кристалічною решіткою. Теорія Лауе, рівняння Вульфа-Брегга та його застосування. Загальна характеристика методів рентгеноструктурного аналізу. (електронна презентація)

Завдання на СРС Характеристика основних методів рентгеноструктурного аналізу: Лауе, обертового монокристала, полікристалів.

Література [2]; [4]; [6].

Тематична контрольна робота 1 (перелік питань на тематичну контрольну роботу у Додатку А).

Тема 2.3. Теорія інтенсивності дифракційного розсіювання кристалами.

Лекція 6. Розсіювання рентгенівських променів електроном та атомом. Інтегральна інтенсивність дифракційних ліній. Атомна функція розсіювання. Розсіювання непримітивною коміркою. Структурна амплітуда та структурний фактор розсіювання. (презентація)

Література: [2]; [4]; [6]

Лекція 7. Аналіз структурної амплітуди різних типів кристалічних ґраток, закономірності інтегральних згасань. Фактори повторюваності, поглинання та теплових коливань та їх вплив на інтенсивність інтерференційних максимумів. Розрахунок інтегральної інтенсивності у кінематичній теорії. Первинна екстинкція. (презентація)

Завдання на СРС Ефект первинної екстинкції та його використання в рентгеноструктурному аналізі.

Література: [2]; [4]; [6] с. 186-200.

Тема 2.4. . Фазовий аналіз наноматеріалів. Визначення індексів площин відбиття.

Лекція 8. Визначення фазового складу наноматеріалів. Точність і чутливість рентгенівського фазового аналізу. Визначення атомно-кристалічної структури. Якісний та кількісний фазовий аналіз. Індексуння дифракційної картини. (презентація)

Завдання на СРС Експериментальне визначення кутів дифракції, міжплощинних відстаней та інтенсивності дифракційних максимумів.

Література: [1]; [2]; [3]; [4]; [6].

Тема 2.5. Визначення параметрів кристалічної ґратки наноматеріалів. Аналіз діаграм фазової рівноваги та типів твердих розчинів.

Лекція 9. Прецизійне визначення періодів кристалічної ґратки. Методи прецизійного визначення періоду кристалічної ґратки. Метод графічної екстраполяції. Рентгенівський аналіз діаграм фазової рівноваги. Дифракційні картини діаграм фазової рівноваги з необмеженою та обмеженою розчинністю компонентів, механічної суміші, їх особливості. Визначення типу твердого розчину (презентація)

Завдання на СРС Вибір випромінювання для прецизійного визначення періодів ґратки. Типи твердих розчинів.

Література: [2]; [4]; [6].

Розділ 3. Застосування дифракції рентгенівських променів для дослідження наноматеріалів

Тема 3.1. Характеристика рентгенівських методів визначення розміру нанокристалітів/ блоків/областей когерентного розсіювання. Аналіз розширення профілю рентгенівських дифракційних максимумів.

Лекція 10. Характеристика рентгенівських методів визначення середнього розміру

блоків/областей когерентного розсіювання. Особливості рентгенівської дифракційної картини в залежності від розміру блоків/областей когерентного розсіювання/кристалітів. Визначення інтегральної або експериментальної ширини дифракційних ліній. Аналіз розширення профілю рентгенівських дифракційних максимумів. Інструментальна ширина та фізичне розширення дифракційних ліній. Фактори, що викликають розширення дифракційних ліній. *(презентація)*
Завдання на СРС Апроксимуючи функції для опису форми дифракційних кривих (розподілу інтенсивності експериментальних профілів різних спектральних ліній). Поправка на дублетну будову $K\alpha$ -лінії.

Література: [1]; [2]; [3]; [4]; [6]. **Тематична контрольна робота 2** (перелік питань на тематичну контрольну роботу у Додатку А).

Тема 3.2. Оцінка середнього розміру нанокристалітів/блоків/областей когерентного розсіювання та мікрдеформацій кристалічної ґратки за розширенням дифракційних ліній

Лекція 11. Визначення середнього розміру блоків/областей когерентного розсіювання/кристалітів за розширенням дифракційних ліній. Визначення мікрдеформацій/мікровикривлень кристалічної ґратки. Розділення внеску дисперсності та мікрдеформацій/мікровикривлень у фізичне розширення дифракційних ліній. *(презентація)*

Завдання на СРС Залишкові напруження та їх класифікація.

Література: [1]; [2]; [3]; [4]; [6].

Модульна контрольна робота, частина 2 (перелік питань на тематичну контрольну роботу у Додатку А).

Модульна контрольна робота, частина 2 (перелік питань на тематичну контрольну роботу у Додатку А).

Розділ 4. Застосування дифракції електронів для дослідження наноматеріалів

Тема 4.1. Електронографічні/електронно-мікроскопічні дослідження структури наноматеріалів. Принципи електронографічного/електронно-мікроскопічного аналізу. Взаємодія електронів з речовиною.

Лекція 12. Електронографічні/електронно-мікроскопічні дослідження структури наноматеріалів. Принципи електронографічного/електронно-мікроскопічного аналізу. Довжина хвилі електронів. Взаємодія електронів з речовиною. Особливості розсіювання електронів атомами речовини, електронна дифракція. Амплітуда атомного розсіювання електронів *(презентація)*

Завдання на СРС Застосування електронографії, способи зйомки, об'єкти дослідження (зразки).

Література [3]; [4]; [6].

Тема 4.2 Формування дифракційної картини електронів, геометрія дифракційної картини. Особливості дифракційної картини наноматеріалів.

Лекція 13. Формування дифракційної картини електронів, геометрія дифракційної картини. Основні розрахункові методи обробки результатів дифракційного експерименту. Обчислення міжплощинних відстаней, визначення індексів інтерференцій по електронограмах *(презентація)*

Завдання на СРС Об'єкти дослідження та їх приготування.

Література: [4]; [6].

Лекція 14. Вплив розміру кристалітів на формування картини розсіювання електронів матеріалами, отриманими різними методами. Просвічувальна/трансмісійна електронна мікроскопія для визначення геометричних параметрів і розмірів наночастинок. Будова електронного мікроскопу, режим мікродифракції та мікрзображення. Основні області застосування електронної дифракції. Границі застосування та порівняння з рентгенівськими методами *(презентація)*

Завдання на СРС Застосування трансмісійної електронної мікроскопії, основне призначення.

Література: [3]; [4]; [6].

Тема 4.3 Сучасні експериментальні прилади та методи дослідження структури наноматеріалів, умови реалізації та границі застосування методів.

Лекція 15. Сучасні експериментальні прилади та методи дослідження структури наноматеріалів, умови реалізації та границі застосування методів. Можливості дифракційних методів дослідження структури, їх точність, чутливість та локальність. Роль дифракційних досліджень в діагностиці структурних особливостей наноматеріалів (презентація)

Завдання на СРС Роль дифракційних досліджень в діагностиці структурних особливостей наноматеріалів

Література: [4]; [6].

5.1 Перелік тем лабораторних занять

ауд. год.

Лабораторне заняття 1. Ознайомлення студентів з вимогами щодо підготовки до лабораторних занять, правилами оформлення протоколів та захисту лабораторних робіт. Дифракція рентгенівських променів на кристалічній структурі речовини. Вплив довжини хвилі та структури речовини на положення дифракційних ліній. Побудова теоретичних дифрактограм (штрих-діаграм).

2

Лабораторне заняття 2. Визначення кристалічної будови фазових складових речовини. Визначення кристалічної структури полікристалічної речовини кубічної та тетрагональної сингонії.

2

Лабораторне заняття 3. Ідентифікація фаз по дифрактограмам багатофазних наноматеріалів. Визначення якісного та кількісного фазового складу.

2

Лабораторне заняття 4 Прецизійне визначення параметрів кристалічної ґратки фазових складових наноматеріалів.

2

Лабораторне заняття 5. Визначення середнього розміру нанокристалітів і мікродеформацій (мікронапружень) кристалічної ґратки за розширенням дифракційних ліній. Розділення вкладів дисперсності та мікродеформацій в розподіл інтенсивності (розширення) ліній на дифрактограмі наноматеріалів.

2

Лабораторне заняття 6. Електронно-мікроскопічний аналіз. Розрахунок електроннограм полікристалів. Визначення кристалічної структури та фазового складу матеріалів.

2

Лабораторне заняття 7. Захист лабораторної роботи № 6

2

Всього:

14

6. Самостійна робота студента

Вид самостійної роботи студента	Кількість годин	Норма часу на підготовку, год.	Термін часу, год.
Підготовка до лекцій та засвоєння додаткових питань	30	0,5	15
Виконання завдань на СРС			30
Підготовка до лабораторних робіт та опрацювання результатів	14	1,5	21
Підготовка до МКР	2	4	4
Підготовка до екзамену		6	6
Всього			76

Політика та контроль

7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Система вимог, які ставляться перед студентами:

- Тему пропущеного лекційного заняття студент повинен опрацювати самостійно шляхом написання конспекту.

- Завдання пропущеного лабораторного заняття студент повинен виконати в час, узгоджений з викладачем.
- У випадку пропуску заняття, коли виконується МКР, студент одержує для самостійного виконання завдання, рівноцінне пропущеному.
- Під час усіх видів аудиторних занять забороняється використання мобільних телефонів у звуковому режимі, дозволяється обмежене використання месенджерів у беззвучному режимі. Під час лабораторних занять дозволяється застосування персональних комп'ютерів для пошуку інформації, використання власних хмарних ресурсів, тощо.
- Умовою допуску до лабораторних занять є наявність у студента написаного протоколу, який складається з: номерів та назви лабораторної роботи; мети лабораторної роботи; теоретичних відомостей, до яких включають основні визначення та умовні позначення; порядок виконання лабораторної роботи.
- Перевірка правильності виконання завдань проводиться викладачем безпосередньо на занятті. Студенти можуть обробляти отримані на лабораторному занятті експериментальні результати (виконувати розрахунки, аналіз одержаних результатів та формулювання висновків) самостійно вдома і надавати їх на перевірку викладачу на наступному занятті. За умови проведення лабораторних занять у дистанційному режимі оформлені протоколи лабораторних робіт із виконаними завданнями надсилаються на e-mail або в Telegram викладачу для перевірки упродовж тижня після останнього заняття за відповідною темою.
- Результати виконаних лабораторних робіт оформлюються у вигляді звітів з застосуванням текстового редактора. Звіт супроводжується формулами, таблицями, графіками, елементами, які підтверджують виконання завдань та одержані результати. За дистанційної форми навчання перевірка правильності виконання завдання здійснюється під час заняття дистанційно із використанням Telegram чату. За дистанційної чи змішаної форми навчання звіт оформлюється в будь-якому текстовому редакторі і на перевірку надсилається на e-mail викладача або в Telegram. За звичайної аудиторної форми навчання звіт виконується в будь-якому текстовому редакторі і на перевірку надається у роздрукованому вигляді. Безпосередній захист відбувається у формі співбесіди, запитань-відповідей.
- Перескладання тематичних контрольних робіт проводиться за взаємною домовленістю викладача та студента.
- Перескладання заліку проводиться під час додаткової сесії за положенням КПІ ім. Ігоря Сікорського відповідно до графіку перескладань, оприлюдненому на сайті НН ІМЗ ім. Є.О. Патона
- Політикою дедлайнів передбачається необхідність своєчасного виконання завдань. Звіти з лабораторних занять виконуються і подаються на перевірку не пізніше 2-х тижнів з моменту завершення. Усі письмові документи мають бути захищені до закінчення теоретичного навчання в семестрі.
- Усі учасники освітнього процесу: викладачі і студенти в процесі роботи вивчення дисципліни мають керуватись принципами академічної доброчесності, передбаченими «Кодексом честі Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут»» <https://kpi.ua/code>.

8. Види контролю та рейтингова система оцінювання результатів навчання (PCO)

Поточний контроль:

- Виконання та захист звітів з лабораторних робіт, усього максимально 80 балів ($10 \text{ б.} \times 4 + 20 \text{ б.} \times 2$), мінімально – 48 балів ($6 \text{ б.} \times 4 + 12 \text{ б.} \times 2$). Оцінюється самостійність виконання роботи, грамотність в оформленні та правильність виконання.
Критерії оцінювання та кількість балів за лабораторні роботи:
- робота виконана правильно та самостійно та звіт зданий з першого разу (відмінно) – 10-9 (20-18) балів;

- робота виконана самостійно, але є неточності у розрахунках та оформленні (добре) – 8-7 (17-14) балів;
- робота виконана самостійно, але є помилки у розрахунках та оформленні неповні відповіді на запитання (задовільно) – 7-6 (13-11) балів;
- робота виконана несамоостійно, є помилки у розрахунках та оформленні, незадовільні відповіді на запитання – 5(10) балів і менше.

До кожної лабораторної роботи студент повинен підготувати протокол, який складається із: номера; назви; мети; теоретичних відомостей, до яких включають основні визначення та умовні позначення; порядок виконання.

На занятті студенти після опитування допускаються до виконання лабораторної роботи. Після чого викладач проводить ознайомлення студентів із обладнанням і алгоритмом проведення лабораторної роботи та студенти виконують її. В кінці лабораторної роботи студенти отримують результати дослідів. У продовж тижня студенти дооформляють протокол лабораторної роботи відповідно до вимог завдання і на наступному занятті її захищають

- **МКР** розбита на 2 частини, які проводяться у вигляді тестів на 6-му та 12-му навчальних тижнях. Максимальна оцінка 10 балів за кожен частину МКР, всього 20 балів за семестр. Мінімальна позитивна оцінка за МКР 6 балів, всього 12 балів за семестр. Бали знижуються за неповні та неправильні відповіді.

Критерії оцінювання та кількість балів за 1 або 2 частини МКР.

- повна відповідь – 10-9 балів;
- неповна відповідь – 8-7 балів;
- неповна відповідь з неточностями – 6 балів;
- незадовільна відповідь – 5 балів і менше.

Календарний контроль: проводиться двічі на семестр на 7 та 13 тижні, як моніторинг поточного стану виконання вимог силабусу. Для позитивного першого календарного контролю студент повинен отримати позитивні оцінки за захист лабораторних робіт №№ 1-3 (мінімальна позитивна оцінка 6 балів за кожен роботу, всього 18 балів за три роботи) та МКР частина 1 (мінімальна позитивна оцінка 6 балів) і сумарна мінімальна позитивна оцінка 24 бали. Для позитивного другого календарного контролю студент повинен отримати позитивні оцінки за захист лабораторних робіт №№ 4–6 (мінімальна позитивна оцінка 30 балів (6 б. × 1 + 12 б. × 2) за 3 роботи) та МКР частина 2 (мінімальна позитивна оцінка 6 балів) і сумарна мінімальна позитивна оцінка 30 балів.

Семестровий контроль: залік

Умови допуску до семестрового контролю: семестровий рейтинг не менше 60 балів за умови виконання усіх лабораторних робіт, двох частин МРК та кількості балів за видами:

- Модульна контрольна робота не менше 12 балів (МРК частина 1 не менше 6 балів; МРК частина 2 не менше 6 балів).
- Захист звітів з лабораторних робіт не менше 48 балів (6 б. × 4 + 12 б. × 2).

Студенти, що набрали упродовж семестру не менше 60 балів мають можливість отримати оцінку, згідно таблиці відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою.

Для підвищення рейтингової оцінки студент може написати залікову контрольну роботу. Залікова контрольна робота складається з чотирьох питань (з Переліку питань, Додаток Б). Проводиться письмово, на написання відводиться 2 академічні години часу. Сумарна максимальна оцінка складає 100 балів, яка складається з балів, які студент отримує за відповіді на питання, максимально 25 балів за кожне питання, тобто, 25 балів × 4 = 100 балів.

Критерії оцінювання відповідей на питання та кількість балів за залікову контрольну роботу:

- «відмінно» (24-25 бали), повна відповідь (не менше 95 % потрібної інформації), студент демонструє повні і глибокі знання навчального матеріалу;

- «дуже добре» (23-22 бали), достатньо повна відповідь (не менше 85 % потрібної інформації), студент демонструє хороші знання навчального матеріалу;
- «добре» (21-19 балів), достатньо повна відповідь (не менше 75 % потрібної інформації), студент демонструє хороші знання навчального матеріалу, але допускає деякі неточності;
- «задовільно» (18-17 балів), неповна відповідь (але не менше 65 % потрібної інформації), студент задовільно засвоїв теоретичний матеріал, але допускає суттєві неточності, щодо використання отриманих знань;
- «достатньо» (16-15 балів), неповна відповідь (але не менше 60 % потрібної інформації), студент задовільно засвоїв теоретичний матеріал, але допускає суттєві помилки, щодо використання отриманих знань;
- «незадовільно» (14 балів і менше), незадовільне знання теорії (менше 60 % потрібної інформації) та відсутність вміння та навичок у вирішенні поставлених завдань, відповідь не відповідає умовам до «задовільно».

Оцінка за відповідь знижується – за принципові помилки у відповіді, за неповну відповідь, за неправильне використання термінів.

Загальна кількість балів за відповіді залікової контрольної роботи визначається шляхом підсумовування балів за відповіді на чотири питання.

У випадку отримання за залік нижчої оцінки (порівняно з результатом поточного контролю) застосовується «М'який підхід»: береться результат поточного контролю.

Таблиця відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою:

Кількість балів	Оцінка
100-95	Відмінно
94-85	Дуже добре
84-75	Добре
74-65	Задовільно
64-60	Достатньо
Менше 60	Незадовільно
Не виконані умови допуску	Не допущено

9. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)

- Студенти можуть отримати до 10 заохочувальних балів за сертифікати проходження дистанційних або онлайн курсів за тематикою дисципліни, творчі роботи (участь у олімпіадах, конференціях, конкурсах тощо), але підсумкова оцінка не може перевищувати 100 балів.
- Перелік питань на 1 та 2 тематичні контрольні роботи знаходиться в Додатку А
- Перелік питань, які виносяться на семестровий контроль (залік) знаходиться в Додатку Б.
- Лабораторні роботи плануються з максимальним використанням обладнання лабораторій ЦККНО «Матеріалознавство тугоплавких сполук та композитів» в структурі НН ІМЗ ім. Є. О. Патона, яке застосовується при одержанні та дослідженні широкого спектру порошкових, композиційних матеріалів та покриттів.
- Результати навчання за даною дисципліною здобуті у неформальній/інформальній освіті, зокрема із використанням відкритих навчальних он-лайн курсів (Prometeus, Coursera тощо), визнаються за умови одержання відповідних сертифікатів. При цьому може бути перезарахований як освітній компонент повністю, так і його окремі складові (змістовні модулі, окремі теми, окремі практичні заняття). Можливість перезарахування (відповідність змісту дисципліни) та обсяг навчальних годин визначається викладачем для кожного конкретного випадку і здійснюється за процедурою, яка відповідає "Положенню про визнання в КПІ ім. Ігоря Сікорського результатів навчання, набутих у неформальній/інформальній освіті".

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено:

професором кафедри високотемпературних матеріалів та порошкової металургії, доктором технічних наук, професором, Юрковою Олександрою Іванівною

Ухвалено:

кафедрою Високотемпературних матеріалів та порошкової металургії

(протокол № 3 від 30 вересня 2025 р.)

Погоджено:

Методичною комісією навчально-наукового Інституту матеріалознавства та зварювання імені Є.О.Патона (протокол № 2 /25 від 16 жовтня 2025 р.)

**ПЕРЕЛІК ПИТАНЬ,
які виносяться на модульну контрольну роботу**

Частина 1:

1. Яка кількість атомів припадає на долю простої решітки, ОЦК, ГЦК?
2. Що таке базис просторової решітки, чим характеризується, як позначається?
3. Що таке координаційне число?
4. Як позначають вузли в кристалічній решітці, вузлові прямі, площини?
5. Індеси Вейса та Міллера. Находження індексів кристалографічних площин.
6. Міжплощинна відстань. Як визначається міжплощинну відстань через індекси площини і періоди решітки?
7. Квадратична форма для ромбічної, кубічної, тетрагональної, гексагональної системи.
8. Центр симетрії, площина симетрії, вісь симетрії.
9. Яка природа рентгенівських променів та як їх отримати?
10. Основні властивості рентгенівських променів.
11. Рівняння Вульфа-Брегга, які властивості рентгенівських променів воно описує?
12. Яку інформацію можна отримати за допомогою рівняння Вульфа-Брегга?
13. Яку інформацію отримують за дифрактограмою (рентгенограмою)?
14. Як розкласти рентгенівські промені в спектр? Типи спектрів рентгенівського випромінювання.
15. Як виникає суцільний спектр? Особливості суцільного спектра. Чим визначається спектральний склад суцільного спектра?
16. Як інтенсивність суцільного спектра залежить від атомного номера матеріалу анода, режимів роботи трубки? Чому ККД рентгенівської трубки становить 1-2%?
17. Умова виникнення характеристичного спектра та його основні особливості.
18. Від чого залежить спектральний склад характеристичного спектра?
19. Як виникає характеристичний спектр (теорія виникнення характеристичного спектра)?
20. Від чого залежить відносна інтенсивність ліній К-серії характеристичного спектра? Співвідношення довжин хвиль К-серії характеристичного спектра.
21. Закон Мозлі і його застосування.
22. Флуоресцентне (вторинне характеристичне) випромінювання: відмінності від характеристичного випромінювання (первинного); як виникає, застосування.
23. Основний закон ослаблення монохроматичних рентгенівських променів.
24. Лінійний і масовий коефіцієнти ослаблення рентгенівських променів, фізична сутність, що характеризують і від чого залежать, одиниці вимірювання.
25. Що таке шар половинного ослаблення?
26. Як масовий коефіцієнт поглинання (ослаблення) залежить від атомного номера речовини і від довжини хвилі випромінювання?
27. Як можна визначити товщину покриття рентгенівським методом?
28. Що таке край смуги поглинання або стрибок поглинання, як виникає?
29. Фільтрація рентгенівського випромінювання. Призначення фільтрів. Як підібрати фільтр?
30. Які явища виникають при взаємодії рентгенівських променів з речовиною?
31. Які процеси відповідають за поглинання, розсіювання рентгенівських променів?
32. Поглинання рентгенівського випромінювання: фотоефект, вторинне характеристичне випромінювання, Оже-ефект.
33. При яких явищах виникають фотоелектрон, оже-електрон, електрон видатності?
34. Що таке когерентне та некогерентне розсіювання рентгенівських променів? Коли виникає комптон ефект?

35. При яких енергіях рентгенівських квантів відбувається утворення електрон-позитронних пар?

Частина 2:

1. Основні рівняння дифракції рентгенівських променів: рівняння Лауе для атомного ряду, атомної площини та кристалічної решітки.
2. Як на практиці виконують умови виникнення інтерференційних максимумів?
3. Рівняння Вульфа-Бреггів та його застосування у рентгенографії матеріалів.
4. Основні методи рентгеноструктурного аналізу, їх характеристика та призначення.
5. За якими ознаками розрізняються методи рентгеноструктурного аналізу?
6. Функцією яких факторів є інтегральна інтенсивність ліній рентгенограми/дифрактограми?
7. Кутовий фактор інтенсивності інтерференційних ліній на рентгенограмі.
8. Атомний фактор розсіювання, від чого залежить, як змінюється, його вплив на інтенсивність.
9. Структурний фактор інтенсивності, його вплив на інтенсивність ліній на рентгенограмі, що враховує, як визначається?
10. Структурна амплітуда F , що враховує, як визначається?
11. Умови існування та погасання інтерференційних максимумів для простої, ОЦК- та ГЦК решітки виходячи з аналізу структурної амплітуди.
12. Температурний фактор інтенсивності інтерференційних ліній.
13. Фактор повторюваності інтерференційних ліній на рентгенограмі.
14. Залежність інтенсивності інтерференційних ліній від фактора поглинання.
15. Від чого залежить інтегральна інтенсивність дифракційних максимумів?
12. Чому на рентгенограмі чистого металу або однофазного твердого розчину різні інтерференційні лінії мають різну інтенсивність?
13. Від чого, крім факторів інтенсивності, залежить інтенсивність інтерференційних максимумів?
14. На чому ґрунтується якісний фазовий аналіз багатофазних матеріалів?
15. Як провести якісний фазовий аналіз?
16. Які додаткові відомості про досліджуваний об'єкт необхідно знати для однозначного вирішення завдання якісного фазового аналізу?
17. Яке мінімальне число ліній на дифрактограмі необхідно для аналізу фазового складу речовини?
18. Що таке чутливість якісного фазового аналізу і від яких чинників вона залежить? Що впливає на чутливість якісного фазового аналізу?
19. Чому можуть бути відсутні лінії на дифрактограмі (рентгенограмі)?
20. Основи методу рентгеноструктурного кількісного фазового аналізу. Методи кількісного фазового аналізу та їх характеристика.
21. Як визначити тип кристалічної решітки для кристалів кубічної сингонії?
22. Як індексується рентгенограма/дифрактограма кристалів кубічної сингонії?
23. Як розрізнити рентгенограми кристалів з примітивною кубічною і ОЦК решітками?
24. Як розрахувати період кристалічної решітки? Методи прецизійного (точного) визначення періоду решітки.
25. Який зв'язок існує між періодом решітки та міжплощинною віддаллю кристала?
26. Які задачі рентгеноструктурного аналізу вирішують шляхом прецизійного вимірювання періодів решітки? Як досягається прецизійність вимірювання періодів решітки?
27. Яка область кутів θ (значення кутів) є прецизійною та чому?
28. На чому засновано прецизійні методи визначення періодів решітки (міжплощинні віддалі)? Методи прецизійної зйомки та їх характеристика.

29. Методи графічної екстраполяції. Як обрати екстраполяційну функцію? На чому засновано методи?
30. Особливості рентгенівської картини діаграм стану з відсутньою, обмеженою та з необмеженою розчинністю компонентів.
31. Які методи застосовують для уточнення положення фазових границь на діаграмах стану?
32. Які типи твердих розчинів Ви знаєте? Як визначити тип твердого розчину?
33. Які задачі вирішують методами електроннографічного/електронно-мікроскопічного аналізу?
34. Призначення електроннографії та просвічувальної електронної мікроскопії.
35. Як розмір кристалітів впливає на картину електронної дифракції?
36. В чому полягають особливості взаємодії електронів з речовиною?

**ПЕРЕЛІК ПИТАНЬ,
які виносяться на семестровий контроль**

1. Загальна характеристика рентгенівських методів визначення дисперсності порошкових об'єктів.
2. За якими формулами розраховують мікронапруження у матеріалах?
3. Кристалічна решітка та елементарна комірка. Співвідношення параметрів елементарної комірки.
4. Визначення дисперсності порошків методом підрахунку числа плям на дебаївському кільці.
5. Якими функціями описують розподіл інтенсивності в інтерференційних максимумах при вивченні тонкої кристалічної структури (дисперсність, мікронапруження) в металах.
6. Елементи симетрії кристалічного простору (вузли, вузлові площини, вузлові вісі) та їх позначення.
7. Визначення дисперсності/ розміру зерен, кристалітів з використанням ефекту первинної екстинкції.
8. Що є мірою мікронапружень (напружень II роду) в металах?
9. Обчислення об'єму елементарної комірки.
10. Як визначаються міжплощинні віддалі за даними рентгеноструктурного аналізу?
11. Рівняння Вульфа-Бреггів та його застосування у рентгенографії металів.
12. Визначення товщини покриттів за ослабленням рентгенівських променів, дифрагованих матеріалом підкладки.
13. Методика визначення ширини інтерференційних максимумів.
14. Рентгенограма як джерело інформації і які її ознаки характеризують стан і будову речовини?
15. Від чого залежить кількість інтерференційних максимумів на рентгенограмі/дифрактограмі?
16. Які математичні функції використовують для опису профілю інтерференційних ліній при визначенні фізичного розширення?
17. Який розмір кристалітів можна визначити з лауєграми та епіграми?
18. Структурний фактор інтенсивності інтерференційних ліній на рентгенограмі/дифрактограмі.
19. Які параметри рентгенограми/дифрактограми використовують для визначення дисперсності порошків у межах $10^{-5} - 10^{-6}$ см та за якими формулами ведуться розрахунки?
20. Методика визначення центру ваги інтерференційного максимуму.
21. Атомний фактор інтенсивності інтерференційних ліній.
22. Правила вибору рентгенівського випромінювання при здійсненні структурного аналізу матеріалів, до складу яких входять хімічні елементи з різними порядковими номерами у таблиці Менделєєва.
23. Від чого залежить кількість та розмір плям на дебаївському кільці рентгенограми?
24. Кутовий фактор інтенсивності інтерференційних ліній на рентгенограмі.
25. Що таке області когерентного розсіювання рентгенівських променів (блоків) і як вивчають їх розмір?
26. Температурний фактор інтенсивності інтерференційних ліній.
27. Як залежить вигляд рентгенограми/дифрактограми від дисперсності блоків у матеріалах?
28. Фактор повторюваності інтерференційних ліній.
29. Кількісний фазовий рентгенівський аналіз порошкових композицій методом підмішування еталона.
30. Залежність інтенсивності інтерференційних ліній від фактора поглинання.
31. Що таке внутрішні напруження II роду (мікронапруження) і чим вони характеризуються?
32. Ефект первинної екстинкції і його вплив на інтенсивність інтерференційних ліній.
33. Що дає аналіз відношення фізичного розширення інтерференційних ліній β_2/β_1 ?

34. Чому рентгенограма/дифрактограма сталі марки Ст3 не відрізняється від рентгенограми заліза?
35. Експериментальне визначення кутів дифракційних максимумів.
36. Чому на рентгенограмі чистого металу або однофазного твердого розчину різні інтерференційні лінії мають різну інтенсивність?
37. Роздільне визначення дисперсності блоків та мікронапружень.
38. Розрахунок міжплощинних відстаней у кристалічній речовині.
39. При визначенні дисперсності блоків і мікронапружень методом апроксимації застосовують еталон. Для чого його застосовують і які вимоги до нього висувають?
40. Як можна визначити товщину покриття рентгенівським методом?
41. Визначення якісного фазового складу порошкових композицій.
42. Чому вводиться і як визначається поправка на K_{α} -дублет при визначенні ширини інтерференційної лінії.
43. Які фактори впливають на розширення інтерференційних ліній і як їх враховують?
44. Методи кількісного фазового аналізу.
45. У якому діапазоні визначаються розміри блоків за фізичним розширенням інтерференційних ліній?
46. Яка область кутів є прецизійною для визначення параметру решітки та чому?
47. Формула Шеррера-Селякова та її застосування у рентгеноструктурному аналізі.
48. Чутливість якісного фазового рентгенівського аналізу порошкових композицій.
49. Як виникають рентгенівські промені та яка їх природа?
50. Основні властивості рентгенівських променів.
51. Що необхідне для виникнення рентгенівських променів?
52. Як виникає суцільний спектр випромінювання рентгенівської трубки та його закономірності. Від чого залежить спектральний склад суцільного спектру?
53. Характеристичний спектр: умови виникнення та особливості.
54. Як виникає характеристичний спектр?
55. Від чого залежить спектральний склад (довжина хвилі) та відносна інтенсивність ліній характеристичного спектра?
56. Закон Мозлі та його використання?
57. Як визначити хімічний склад речовини за допомогою рентгенівських променів?
58. Які явища виникають при взаємодії рентгенівських променів з речовиною?
59. Основний закон ослаблення монохроматичних рентгенівських променів.
60. Лінійний і масовий коефіцієнти ослаблення рентгенівських променів, їх фізичний сенс, що характеризують та від чого залежать, одиниці вимірювання.
61. Що таке шар половинного ослаблення? Як визначається?
62. Як масовий коефіцієнти поглинання (ослаблення) залежить від атомного номера речовини, від довжини хвилі випромінювання?
63. Край смуги поглинання або стрибок поглинання, як виникає та використовується?
64. Фільтрація рентгенівського випромінювання, на якому явищі базується, для чого застосовується?
65. Поглинання рентгенівського випромінювання: фотоефект, вторинне характеристичне випромінювання, Оже-ефект.
66. Розсіювання рентгенівських променів. Когерентне та некогерентне розсіювання.
67. Рівняння Лауе. Як на практиці виконують умови виникнення інтерференційних максимумів?
68. Умови існування та погасання інтерференційних максимумів для ОЦК-решітки виходячи з аналізу структурної амплітуди.
69. Умови існування та погасання інтерференційних максимумів для ГЦК-решітки виходячи з аналізу структурної амплітуди.
70. Структурний фактор інтенсивності, його вплив на інтенсивність ліній на рентгенограмі, що враховує, як визначається?
71. Атомний фактор розсіювання, від чого залежить, як змінюється, його вплив на інтенсивність.
72. Структурна амплітуда F , що враховує, як визначається?

73. Як розрахувати період решітки кристала? Методи прецизійного визначення періоду решітки.
74. Який зв'язок між періодом решітки та міжплощинною віддаллю кристала?
75. Як розділити α - і β -лінії на рентгенограмі? Чому вони виникають? Як позбутися β -ліній?
76. Для чого використовують фільтри та монохроматори? Як обирають випромінювання для проведення фазового аналізу, визначення параметра решітки?
77. Як визначити тип кристалічної решітки для кристалів з кубічною решіткою?
78. Як визначити тип твердого розчину?
79. Особливості рентгенівської картини діаграм стану з необмеженою, обмеженою та відсутньою розчинністю компонентів.
80. Фактори, що викликають зсув дифракційних ліній.
81. Фактори, що викликають розмиття дифракційних ліній.
82. Як залежить фізичне розширення інтерференційних ліній від кута дифракції при наявності мікронапружень?
83. Взаємозв'язок між шириною інтерференційних ліній та дисперсністю частинок фазових складових сплавів.
84. Який зв'язок між періодом решітки та міжплощинною віддаллю кристала?