



РЕНТГЕНІВСЬКИЙ АНАЛІЗ ДИСПЕРСНИХ МАТЕРІАЛІВ

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>
Освітньо-професійна програма	<i>Інженерія порошкових та композиційних матеріалів (2025)</i>
Статус дисципліни	<i>Вибіркова</i>
Форма навчання	<i>очна(денна)</i>
Рік підготовки, семестр	<i>1 курс, весняний семестр</i>
Обсяг дисципліни	<i>5 кредитів ECTS (150 год.), лекції – 30 год., лабораторні заняття – 16 год., СРС – 104 год.</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>екзамен / МКР</i>
Розклад занять	<i>http://roz.kpi.ua</i>
Мова викладання	<i>Українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектор: <i>доктор технічних наук, професор, Юркова Олександра Іванівна, e-mail: yurkova2403@gmail.com</i> ² Лабораторні: <i>доктор технічних наук, професор, Юркова Олександра Іванівна, e-mail: yurkova2403@gmail.com</i>
Розміщення курсу	

Програма навчальної дисципліни

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

Навчальна дисципліна належить до переліку вибірових освітніх компонент освітньо-професійної програми (ОПП) підготовки другого (магістерського) рівня вищої освіти «Інженерія порошкових та композиційних матеріалів» 2025 року за спеціальністю «Матеріалознавство».

Предметом вивчення навчальної дисципліни є особливості формування рентгенівських інтерференційних картин дисперсних матеріалів, отриманих різними методами, для визначення на їх основі структури, фазового складу, розмірів кристалітів, тонкої структури (розмір блоків, величину мікронапружень, щільність дислокацій) у широкому інтервалі дисперсності, та опанування сучасними методики контролю структурних змін в дисперсних матеріалів на різних стадіях отримання.

Вивчення навчальної дисципліни надає здобувачу можливість ознайомитися з сучасним рівнем наукових досліджень в області рентгеноструктурного аналізу дисперсних матеріалів,

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.

поглибити професійну підготовку в межах спеціальності та освітньої програми, здобути додаткові результати навчання. Цю дисципліну варто вчити для того, щоб стати конкурентоспроможним фахівцем. Рентгенівські методи дослідження дають пряму і найбільш об'єктивну інформацію про атомно-кристалічну будову твердого тіла. Володіючи цими методами, студент стає фахівцем, здатним вирішувати задачі встановлення взаємозв'язку між хімічним складом, внутрішньою будовою та різноманітними фізико-хімічними і механічними властивостями матеріалів, в т.ч. дисперсних.

Метою навчальної дисципліни є підсилення у здобувачів вищої освіти компетентностей у відповідності до ОПП «Інженерія порошкових та композиційних матеріалів», 2025 року, а саме:

- здатність уявляти особливості формування рентгенівських інтерференційних картин дисперсних матеріалів, отриманих різними методами, та визначати на їх основі структуру, фазовий склад, розміри кристалітів, тонку структуру (розмір блоків, величину мікронапружень, щільність дислокацій) у широкому інтервалі дисперсності;
- здатність застосовувати знання сучасних рентгенівських методів та методик дослідження дисперсних матеріалів;
- здатність застосовувати сучасні методики контролю структурних змін в дисперсних матеріалів на різних стадіях їх отримання;
- здатності 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 вихідних матеріалів різного ступеня дисперсності методами рентгенівського дифракційного експерименту із розумінням фізичної сутності і можливостей методів та критичним аналізом його результатів
- здатність проводити дослідницькі роботи, стандартизацію, сертифікацію матеріалів та виробів на підставі базових знань;
- здатність обґрунтовано здійснювати вибір методів та методик дослідження структури, фазового та хімічного складу матеріалів і виробів.

Студенти мають продемонструвати знання, що поглиблюють результати навчання:

- термінології рентгенівського аналізу, фізичних основ взаємодії рентгенівського випромінювання з матеріалами, теоретичних основ та можливостей основних сучасних методів рентгеноструктурного аналізу для дослідження структури матеріалів;
- теорії дифракції рентгенівських променів та рентгенівських методів дослідження фазового складу, атомно-кристалічної структури та дефектів кристалічної будови матеріалів;
- найбільш розповсюджених експериментальних методів дослідження дисперсних матеріалів і структур, умови реалізації та границі застосування методів;
- основних розрахункових методик обробки результатів рентгенівського експерименту;
- сучасних методик контролю структурних змін порошкових матеріалів як на стадії пресування, так і на стадії спікання.

студенти повинні уміти:

- застосовувати отриманні знання для проведення експериментальних досліджень фазового складу, атомно-кристалічної структури та дефектів кристалічної будови дисперсних матеріалів;
- обирати методи дослідження для рішення конкретних практичних задач визначення структури матеріалів; використовувати методи рентгеноструктурного аналізу для вивчення фазового складу, атомно-кристалічної структури та дефектів кристалічної будови;

- використовувати основні розрахункові методики обробки результатів рентгенівського дифракційного експерименту на основі сучасних інформаційних технологій та критично аналізувати отримані експериментальні дані;
- опановувати сучасні методики контролю структурних змін порошкових матеріалів як на стадії пресування, так і на стадії спікання.
- планувати і виконувати експериментальні матеріалознавчі дослідження, обирати відповідні обладнання та методики, 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. Вивчення твердого тіла на макроскопічному (суцільне середовище) та мікроскопічному (дискретне середовище) рівні.

Тема 1.1. Особливості кристалічного стану речовини. Кристалічна решітка. Формули структурної кристалографії. Симетрія кристалів.

Розділ 2. Застосування дифракції рентгенівських променів для дослідження матеріалів

Тема 2.1. Отримання та властивості рентгенівських променів. Спектральний склад рентгенівських променів. Взаємодія рентгенівських променів з речовиною. Явища, що супроводжують проходження рентгенівських променів крізь речовину.

Тема 2.2. Основні рівняння дифракції рентгенівських променів. Рівняння Лауе та Вульфа-Брегга. Основні методи рентгеноструктурного аналізу.

Тема 2.3. Теорія інтенсивності дифракційного розсіяння кристалами. Фактори інтенсивності інтерференційних максимумів.

Тема 2.4. Рентгенограма/дифрактограма як джерело інформації про будову речовини. Визначення фазового складу порошкових композицій.

Тема 2.5. Прецизійне визначення параметрів кристалічної ґратки. Рентгенівський аналіз діаграм стану.

Розділ 3. Методи визначення дисперсності матеріалів

Тема 3.1. Загальна характеристика рентгенівських методів визначення розміру кристалітів. Визначення розміру кристалітів з використанням ефекту первинної екстинкції.

Тема 3.2. Визначення розміру кристалітів та мікронапружень за розширенням дифракційних ліній.

Тема 3.3. Визначення розміру кристалітів/блоків/ділянок когерентного розсіювання з урахуванням дефектів пакування.

4. Навчальні матеріали та ресурси

Базова література

1. Кристалографія, кристалохімія та мінералогія [Електронний ресурс]: підручник для студ. спеціальності 132 Матеріалознавство / Л.О. Бірюкович. – К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 234 с.

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

3. Рентгеноструктурний аналіз матеріалів у дисперсному стані [Текст]: навчальний посібник / Уклад.: П.І. Лобода, О.П. Карасевська, І.Ю. Троснікова. – К.: НТУУ «КПІ», 2017. – 139 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. 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. – К.: Вища школа, 1992. – 311 с.

6. Cullity B.D, Stock S.R. Elements of X-Ray Diffraction [Текст] / B.D, Cullity., S.R. Stock / 2nd edn. – London: Pearson Education Limited, 2014. – 654 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. Вивчення твердого тіла на макроскопічному (суцільне середовище) та мікроскопічному (дискретне середовище) рівні

Лекція 1. Вступ. Мета і завдання дисципліни. Дифракційні методи вивчення структури матеріалів та їх роль в розвитку фізичних основ матеріалознавства. Вивчення твердого тіла на макроскопічному та мікроскопічному рівні. (електронна презентація)

Література [1]; [2]; [4].

Тема 1.1. Особливості кристалічного стану речовини. Кристалічна решітка.

Лекція 2. Особливості кристалічного стану речовини: гомогенність, симетрія, анізотропія. Кристалічна решітка та елементарна комірка. Співвідношення параметрів елементарної комірки. Сингонії та категорії. Базис просторової решітки. Координатне число. Елементи симетрії кристалічного простору (вузли, вузлові площини, вузлові вісі) та їх позначення. Находження індексів кристалографічних площин. Індеси Вейса та Міллера. Формули структурної кристалографії. Визначення міжплощинної відстані. Сукупність площин, кристалографічна зона, умови зональності. (електронна презентація)

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

Література [1]; [2], [4], [6].

Розділ 2. Застосування дифракції рентгенівських променів для дослідження матеріалів

Тема 2.1. Отримання та властивості рентгенівських променів. Спектральний склад рентгенівських променів. Взаємодія рентгенівських променів з речовиною. Явища, що супроводжують проходження рентгенівських променів крізь речовину.

Лекція 3. Природа, отримання та властивості рентгенівських променів. Спектральний склад рентгенівських променів. Рентгенівські спектри. Суцільний рентгенівський спектр, його природа та властивості. Загальні закономірності суцільного спектра. Характеристичний рентгенівський спектр, його природа та умови виникнення. Теорія характеристичного спектру. Спектральні серії. Закон Мозлі. Флуоресцентне випромінювання (електронна презентація)

Завдання на СРС Способи реєстрації рентгенівського випромінювання.

Література [2], [3], [4], [6].

Лекція 4. Основний закон ослаблення рентгенівських променів. Лінійний та масовий коефіцієнти ослаблення. Шар половинного ослаблення. Край смуги поглинання рентгенівських променів. Фільтрація рентгенівського випромінювання. (електронна презентація)

Завдання на СРС Визначення товщини металевих покриттів за ослабленням рентгенівських променів, дифрагованих матеріалом підкладки.

Література: [2], [3], [4], [6].

Лекція 5. Взаємодія рентгенівських променів з речовиною. Явища, що супроводжують проходження рентгенівських променів крізь речовину. Поглинання та розсіювання рентгенівського випромінювання. Фотоефект, флуоресцентне випромінювання, оже-ефект. Класичне та квантове розсіювання рентгенівських променів. Електронно-позитронні пари. *(електронна презентація)*

Завдання на СРС Фотоелектричний ефект, вторинне характеристичне випромінювання.

Література: [2], [4], [6].

Тема 2.2. Основні рівняння дифракції рентгенівських променів. Рівняння Лауе та Вульфа-Брегга. Основні методи рентгеноструктурного аналізу.

Лекція 6. Основні рівняння дифракції рентгенівських променів. Розсіювання рентгенівських променів атомним рядом, атомною площиною, кристалічною решіткою. Рівняння Лауе. Рівняння Вульфа-Брегга та його застосування у рентгенографії матеріалів. *(електронна презентація)*

Завдання на СРС Загальна характеристика основних методів рентгеноструктурного аналізу: Лауе, обертового монокристала, полікристалів (метод Дебая-Шерера).

Література [2], [3], [4], [6].

Модульна контрольна робота, частина 1 (перелік питань на тематичну контрольну роботу у Додатку А).

Тема 2.3. Теорія інтенсивності дифракційного розсіювання кристалами. Фактори інтенсивності інтерференційних максимумів.

Лекція 7. Теорія інтенсивності дифракційного розсіювання кристалами. Розрахунок відносної інтегральної інтенсивності ліній рентгенограми полікристалічних матеріалів. Фактори інтенсивності інтерференційних максимумів: кутовий фактор, атомний фактор, структурна амплітуда розсіювання, структурний фактор, аналіз структурної амплітуди простої решітки, ОЦК-, ГЦК- та ГЦУ- решітки. Закономірності інтегральних погасань. Фактори інтенсивності інтерференційних максимумів: повторюваності, температурний, поглинання. *(електронна презентація)*

Завдання на СРС Ефект первинної екстинкції, визначення та застосування в рентгенівському аналізі.

Література [2], [4], [6].

Тема 2.4. Рентгенограма/дифрактограма як джерело інформації про будову речовини. Визначення фазового складу порошкових композицій.

Лекція 8. Рентгенограма як джерело інформації про будову речовини. Визначення фазового складу порошкових композицій. Точність і чутливість аналізу. Основні етапи визначення атомно-кристалічної структури. Кількісний фазовий аналіз. Аналітичний метод індексування дифрактограм. *(електронна презентація)*

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

Література [2], [4], [5], [6].

Тема 2.5. Прецизійне визначення параметрів кристалічної ґратки. Рентгенівський аналіз діаграм стану.

Лекція 9. Прецизійне визначення періодів кристалічної ґратки. Методи прецизійного визначення періоду кристалічної ґратки: методи зворотної зйомки. Метод графічної екстраполяції. *(електронна презентація)*

Завдання на СРС Вибір випромінювання для прецизійного визначення періоду ґратки.

Література [2], [4], [5], [6].

Лекція 10. Рентгенівський аналіз діаграм стану. Особливості дифракційної картини діаграми стану з необмеженою та обмеженою розчинністю компонентів, діаграми стану механічної суміші. Уточнення положення фазових границь на діаграмах стану. Типи твердих розчинів - заміщення, проникнення та вилучення. *(електронна презентація)*

Завдання на СРС Визначення типу твердого розчину

Література [[2], [4], [5], [6].

Розділ 3. Методи визначення дисперсності матеріалів

Тема 3.1. Загальна характеристика рентгенівських методів визначення розміру кристалітів. Визначення розміру кристалітів з використанням ефекту первинної екстинкції.

Лекція 11. Загальна характеристика рентгенівських методів визначення розміру кристалітів. Особливості рентгенівської дифракційної картини в залежності від розміру зерен/блоків/кристалітів. *(електронна презентація)*

Завдання на СРС Визначення розміру кристалітів методом підрахунку числа плям на дебаївському кільці (просвічуванням тонких зразків та на відбиття за зворотною зйомкою).

Література [2], [4], [5], [6].

Лекція 12. Визначення розміру кристалітів з використанням ефекту первинної екстинкції (за зменшенням інтенсивності дифракційних ліній внаслідок первинної екстинкції). *(електронна презентація)*

Завдання на СРС Вплив ефекту первинної екстинкції на інтенсивність інтерференційних ліній.

Література: [2], [4], [5], [6].

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

Тема 3.2. Визначення розміру кристалітів та мікронапружень за розширенням дифракційних ліній

Лекція 13. Визначення розмірів кристалітів/блоків/ділянок когерентного розсіювання за розширенням дифракційних ліній. Визначення інтегральної або експериментальної ширини дифракційних ліній. Інструментальна ширина та фізичне розширення дифракційних ліній. Фактори, що викликають розширення дифракційних ліній. *(електронна 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 [2], [4], [5], [6].

Лекція 14. Визначення розмірів кристалітів/блоків/ділянок когерентного розсіювання (дисперсності кристалітів). Мікровикривлення кристалічної решітки. Розділення внеску дисперсності та мікровикривлень у фізичне розширення дифракційних ліній. *(електронна презентація)*

Завдання на СРС Залишкові напруження та їх класифікація.

Література [2], [3], [5], [6].

Тема 3.3. Визначення розміру кристалітів/блоків/ділянок когерентного розсіювання з урахуванням дефектів пакування

Лекція 15. Вплив деформаційних дефектів пакування на положення, форму та ширину дифракційних максимумів. Визначення концентрації дефектів пакування у деформованих матеріалах та розміру кристалітів/блоків/ділянок когерентного розсіювання (середнього розміру кристалітів) з урахуванням дефектів пакування. *(електронна презентація)*

Завдання на СРС Дефекти пакування атомів в ОЦК, ГЦК та ГЦУ ґратках, загальні відомості та визначення.

Література [2], [4], [5], [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. Експериментальне отримання дифрактограм полікристалічних матеріалів кубічної сингонії. Розрахунок та побудова теоретичних дифрактограм матеріалів в різних випромінюваннях.	2
Лабораторне заняття 2. Визначення типу кристалічних ґраток фазових складових. Індексуювання дифрактограм/рентгенограм.	2
Лабораторне заняття 3. Визначення товщини покриття за ослабленням	2

рентгенівських променів, дифрагованих матеріалом підкладки.

Лабораторне заняття 4. Рентгенівський фазовий аналіз речовини. Визначення якісного та кількісного фазового складу речовини. 2

Лабораторне заняття 5. Прецизійне визначення параметрів кристалічної ґратки фазових складових. 2

Лабораторне заняття 6. Напруження в речовині, їх класифікація. Визначення макронапружень в матеріалах рентгенівським методом. 2

Лабораторне заняття 7. Визначення розмірів областей когерентного розсіювання (ОКР) та величини мікронапружень в матеріалі. 2

Лабораторне заняття 8. Захист лабораторної роботи № 7 2

Всього: 16

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			31
Підготовка до лабораторних робіт та опрацювання результатів	16	1,5	24
Підготовка до МКР	2	4	4
Підготовка до екзамену		30	30
Всього			104

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 ТКР (тематична контрольна робота, 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 модульної контрольної роботи проводиться за взаємною домовленістю викладача та студента.
- Перескладання екзамену проводиться під час додаткової сесії за положенням КПІ ім. Ігоря Сікорського відповідно до графіку перескладань, оприлюдненому на сайті 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 всього максимально 40 балів (5 б.×6 + 10 б.×1). 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) – 5 (10) балів;
- робота виконана самостійно, але є неточності у розрахунках та оформленні (добре) – 4 (8) бали(ів);
- робота виконана самостійно, але є помилки у розрахунках та оформленні неповні відповіді на запитання (задовільно) – 3(6) бали(ів);
- робота виконана несамотійно, є помилки у розрахунках та оформленні, незадовільні відповіді на запитання – 2(4) бали 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. 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 поділена на 2 частини, які проводяться у вигляді тестів на 7-му та 13-му навчальних тижнях. Максимальна оцінка 5 балів за тест, всього 10 балів. Мінімальна позитивна оцінка за тест 3 бали, всього 6 балів. Бали знижуються за неповні та неправильні відповіді.

Критерії оцінювання та кількість балів за ТКР.

- повна відповідь – 5 б.
- неповна відповідь – 4 б.

- неповна відповідь з неточностями – 3 б.
- незадовільна відповідь – 2 б. 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 3 бали за кожну роботу, всього 9 балів за три роботи) та Модульну контрольну роботу частина 1 (мінімум 3 бали) і сумарно мінімальна позитивна оцінка 12 балів. Для позитивного другого календарного контролю студент повинен отримати позитивні оцінки за захист лабораторних робіт № 4 - № 6 (мінімальна позитивна оцінка 9 балів за 3 роботи) та Модульну контрольну роботу частина 2 (мінімум 3 бали) і сумарно мінімальна позитивна оцінка 12 балів.
- **Семестровий контроль:** екзамен, проводиться у письмовій, усній або змішаній формі, у кожному білеті три питання.
Умови допуску до семестрового контролю (мінімальний стартовий рейтинг): семестровий рейтинг не менше 30 балів за умови виконання усіх лабораторних робіт та кількості балів за видами:
 - Модульна контрольна робота не менше 6 балів (частина 1 – не менше 3 балів; частина 2 – не менше 3 балів).
 - Захист звітів з лабораторних робіт не менше 24 балів (3 б. $\times$ 6 + 6 б. $\times$ 1).

Відповіді на екзамені оцінюються за 50-бальною шкалою, яка складається з балів, які студент отримує за відповіді на питання білету (максимально 15 балів за кожне питання білету; кожен білет складається з 3-х питань) та надання відповіді на 1 додаткове питання (максимально 5 балів). Тобто, 15 б. $\times$ 3 + 5 б. = 50 балів.

Критерії оцінювання відповідей на питання білету та кількість балів на екзамені:

- 15-14 балів – повна відповідь (не менше 95 % потрібної інформації), студент демонструє повні і глибокі знання навчального матеріалу;
- 13-12 балів – достатньо повна відповідь (не менше 85 % потрібної інформації), студент демонструє хороші знання навчального матеріалу;
- 11 балів – студент демонструє хороші знання навчального матеріалу, але є деякі неточності (не менше 80 % потрібної інформації);
- 10 балів – студент демонструє задовільні знання навчального матеріалу, є деякі зауваження (не менше 70 % потрібної інформації);
- 9 балів – неповна відповідь (але не менше 60 % потрібної інформації), студент задовільно засвоїв теоретичний матеріал, але допускає суттєві неточності, щодо використання отриманих знань;
- менше 9 балів – незадовільна відповідь, 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 неточності, за неправильне використання термінів.

Критерії оцінювання відповіді на додаткове питання:

- 5 балів – повна відповідь;
- 4 бали – достатньо повна відповідь;
- 3 бали – неповна відповідь;
- менше 2 балів – незадовільна відповідь.

Загальна кількість балів за відповідь на екзамені визначається шляхом підсумовування балів за відповіді на питання екзаменаційного білету та балів за відповідь на додаткове питання.

Рейтинг з дисципліни (РД) враховує роботу студента протягом семестру (стартові бали, максимально 50 б., мінімально 30 б.) та рівень знань і навичок, виявлених ним на екзамені (максимально 50 б., мінімально 30 б.). Після оцінювання відповідей на екзамені підсумовуються стартові бали та бали за екзамен, зводяться до рейтингової оцінки та переводяться до оцінок за університетською шкалою (табл.).

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, які виносяться на МКР (1 та 2 тематичні контрольні роботи), знаходиться в Додатку А
- Перелік питань, які виносяться на семестровий контроль (екзамен) 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 Perezархований як освітній компонент повністю, так і його окремі складові (змістовні модулі, окремі теми, окремі практичні заняття). Можливість Perezарховування (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 30.09.2025 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 МКР**

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. Як первинна екстинкція впливає на інтенсивність ліній?
16. 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. Який вид має дифрактограма (рентгенограма) багатофазного об'єкта?
16. Як провести якісний фазовий аналіз?
17. Які додаткові відомості про досліджуваний об'єкт необхідно знати для однозначного вирішення завдання якісного фазового аналізу?
18. Які лінії називаються реперними? Яке мінімальне число ліній на дифрактограмі необхідно для аналізу фазового складу речовини?
19. Що таке чутливість якісного фазового аналізу і від яких чинників вона залежить?
20. Що впливає на чутливість якісного фазового аналізу?
21. Чому можуть бути відсутні лінії на дифрактограмі (рентгенограмі)?
22. Основи методу рентгеноструктурного кількісного фазового аналізу.
23. Які фактори впливають на інтенсивність ліній на рентгенограмі?
24. Методи кількісного фазового аналізу та їх характеристика.
25. Як визначити тип кристалічної решітки для кристалів кубічної сингонії?
26. Як індексується рентгенограма/дифрактограма кристалів кубічної сингонії?
27. Як розрізнити рентгенограми кристалів з примітивною кубічною і ОЦК решітками?
28. Як розрахувати період кристалічної решітки? Методи прецизійного (точного) визначення періоду решітки.
29. Який зв'язок існує між періодом решітки та міжплощинною віддаллю кристала?

30. Які задачі рентгеноструктурного аналізу вирішують шляхом прецизійного вимірювання періодів решітки? Як досягається прецизійність вимірювання періодів решітки?
31. Яка область кутів θ (значення кутів) є прецизійною та чому?
32. На чому засновано прецизійні методи визначення періодів решітки (міжплощинні віддалі)?
33. Методи прецизійної зйомки та їх характеристика.
34. Методи графічної екстраполяції. Як обрати екстраполяційну функцію? На чому засновано методи?
35. Як правильно обрати випромінювання для прецизійної зйомки?
36. Особливості рентгенівської картини діаграм стану з відсутньою, обмеженою та з необмеженою розчинністю компонентів.
37. Які методи застосовують для уточнення положення фазових границь на діаграмах стану?
38. Які типи твердих розчинів Ви знаєте? Як визначити тип твердого розчину?

**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 використання 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?