



# РЕНТГЕНІВСЬКИЙ АНАЛІЗ ДИСПЕРСНИХ МАТЕРІАЛІВ

## Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

### Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	<i>Другий (магістерський)</i>
Галузь знань	<i>13Механічна інженерія</i>
Спеціальність	<i>132Матеріалознавство</i>
Освітня програма	<i>Освітньо-наукова програма 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, 36 годин лекцій, 18 годин лабораторних занять, 66 годин СРС</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>залік/ МКР</i>
Розклад занять	<i><a href="http://rozklad.kpi.ua">http://rozklad.kpi.ua</a> (Лекція –1 раз на тиждень, лабораторне заняття – 1 раз на два тижні)</i>
Мова викладання	<i>Українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	<i>Лектор: доктор технічних наук, професор, Юркова Олександра Іванівна, e-mail:yurkova2403@gmail.com Лабораторні заняття: доктор технічних наук, професор, Юркова Олександра Іванівна, e-mail:yurkova2403@gmail.com</i>
Розміщення курсу	<i><a href="https://campus.kpi.ua/tutor/index.php?mode=mob&amp;create&amp;filter=&amp;sd=12937&amp;cm=55909">https://campus.kpi.ua/tutor/index.php?mode=mob&amp;create&amp;filter=&amp;sd=12937&amp;cm=55909</a><a href="https://campus.kpi.ua/tutor/index.php?mode=mob&amp;show&amp;irid=243237">https://campus.kpi.ua/tutor/index.php?mode=mob&amp;show&amp;irid=243237</a> <a href="https://campus.kpi.ua/tutor/index.php?mode=mob&amp;show&amp;irid=243766">https://campus.kpi.ua/tutor/index.php?mode=mob&amp;show&amp;irid=243766</a></i>

### Програма навчальної дисципліни

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

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

Предмет дисципліни «Рентгенівський аналіз дисперсних матеріалів» – вивчення особливостей 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 методами контролю структурних змін в дисперсних матеріалах на різних стадіях отримання.

**Метою** навчальної дисципліни є формування у студентів компетентностей, що підсилюють фахові компетентності спеціальності, таких як::

- 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 матеріалах на різних стадіях їх отримання;
- 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 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 отримані 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 викладається в другому семестрі підготовки за освітньою програмою підготовки магістрів з матеріалознавства. Для успішного засвоєння дисципліни, студент повинен володіти набором компетентностей бакалаврського рівня.

Знання, що студент отримує під час вивчення дисципліни «Рентгенівський аналіз дисперсних матеріалів», є підґрунтям для проведення науково-дослідних робіт, виконання магістерських дисертацій при підготовці за спеціальністю «Матеріалознавство».

## **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..

Тема 1.2. 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 методом підрахунку числа плям на дебаївському кільці та 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.

Тема 3.4. Рентгенівський аналіз залишкових напружень. Лінійний, плоский та об'ємний напружений стан матеріалу. Визначення мікронапружень методом  $\sin^2 \psi$ .

## **4. Навчальні матеріали та ресурси**

### **4.1 Базова**

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.

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.

#### 4.2 Допоміжна

4. Казіміров В. П. Рентгенографія кристалічних матеріалів [Електронний ресурс] : навч. посіб. / В. П. Казіміров, Е. Б. Русанов ; Київський національний університет ім. Тараса Шевченка. – Електрон. текстові дані. – Київ : ВПЦ “Київський університет”, 2016. – 287 с. – Режим доступу : <https://physchem.knu.ua/kazimirov/RentgCrystMater>.

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. – Київ : Вища школа, 1992. – 311 с.

6. Тейлор А. Рентгеновская металлография [Текст] / А. Тейлор ; перевод с англ. ; ред. Б. Я. Пинес. – Москва : Металлургия, 1965. – 663 с.

7. Кушта Г. П.. Введение в кристаллографию [Текст] / Г. П. Кушта. – Львов : Высшая школа, 1976. – 237 с.

8. Cullity BD, Stock SR (2001) Elements of X-Ray Diffraction, 2nd edn. Pearson Education Limited, London. <https://www.pearson.com/us/higher-education/product/Cullity-Elements-of-X-Ray-Diffraction-3rd-Edition/9780201610918.html>.

9. Yeh JW, Chang SY, Hong YD, Chen SK, Lin SJ (2007) Anomalous decrease in X-ray diffraction intensities of Cu-Ni-Al-Co-Cr-Fe-Si alloy systems with multi-principal elements. Materials Chemistry and Physics 103(41):41–46. <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2007.01.003>.

10. Ungar T. Characterization of nanocrystalline materials by X-ray line profile analysis, J. Mater. Sci. 42, 1584–1593 (2007). DOI <https://doi.org/10.1007/s10853-006-0696-1>.

11. Ungar T. Microstructural parameters from X-ray diffraction peak broadening // Scripta Materialia Volume 51, Issue 8, October 2004, Pages 777-781. DOI <https://doi.org/10.1016/j.scriptamat.2004.05.007>.

Книги, зазначені у списку допоміжних навчальних матеріалів, є у вільному доступі бібліотеці КПІ ім. Ігоря Сікорського.

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)

##### 5.13міст лекційних занять

##### Розділ 1. Вивчення твердого тіла на макроскопічному (суцільне середовище)

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. (презентація)

Література [1] с. 13-21; [2] с. 17-29; [4] с. 342-346.

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. (презентація)  
Література [1] с. 5-13; [4] с. 317-328; с. 342-346.

Тема 1.2. Формули структурної кристалографії. Симетрія кристалів

Лекція 3. Формули структурної кристалографії: Визначення міжплощинної відстані. Сукупність площин, кристалографічна зона, умови зональності. Симетрія кристалів: Центр симетрії (центр інверсії), площина симетрії, вісь симетрії. (презентація)  
Література [3] с.102-111; [4] с. 317-328.

## **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 4. Природа, отримання та властивості рентгенівських променів. Способи реєстрації рентгенівського випромінювання. (презентація)  
Література [3] с. 28-36; 41; 10-13; [6] с. 140-146.

Лекція 5. 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 (вторинне характеристичне) випромінювання (презентація)  
Література [3] с. 13-17; [2] [4] с. 317-328. [6] с. 143-146.

Лекція 6. Основний закон ослаблення рентгенівських променів. Лінійний та масовий коефіцієнти ослаблення. Шар половинного ослаблення. Визначення товщини металевих покриттів за ослабленням рентгенівських променів, дифрагованих матеріалом підкладки. Край смуги поглинання рентгенівських променів. Фільтрація рентгенівського випромінювання. (презентація)  
Література: [4] с. 117-128. [5] с. 146-153,

Лекція 7. Взаємодія рентгенівських променів з речовиною. Явища, що супроводжують проходження рентгенівських променів крізь речовину. Поглинання та розсіювання рентгенівського випромінювання. Фотоелектричний ефект, вторинне випромінювання, оже-ефект. Класичне та квантове розсіяння рентгенівських променів. Електронно-позитронні пари. (презентація)  
Література: [4] с. 117-128, [5] с. 170-172; [6] с. 147-153

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

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

Лекція 8. 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. Загальна характеристика основних методів рентгеноструктурного аналізу: Лауе, обертового

монокристала, полікристалів (метод Дебая-Шерера). (презентація)

Література [3] с. 13-15; 129-131; [4] с. 117-128; [6] с. 218-250.

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

Лекція 9. Теорія інтенсивності дифракційного розсіяння кристалами. Розрахунок відносної інтегральної інтенсивності ліній рентгенограми полікристалічних матеріалів. Фактори інтенсивності інтерференційних максимумів: кутовий фактор, атомний фактор, структурна амплітуда розсіювання, структурний фактор. (презентація)

Література: [3] с.112-148. [5] с. 49-53, [6] с. 186-200

Лекція 10. Теорія інтенсивності дифракційного розсіяння кристалами. Аналіз структурної амплітуди простої решітки, ОЦК-, ГЦК- та ГЦУ- решітки. Закономірності інтегральних погасань. Фактори інтенсивності інтерференційних максимумів: повторюваності, температурний, поглинання. Ефект первинної екстинкції. (презентація)

Література: [4] с. 117-128, [5] с. 49-53.

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

Лекція 11. Рентгенограма як джерело інформації про будову речовини. Експериментальне визначення кутів дифракції, міжплощинних відстаней та інтенсивності інтерференційних максимумів. Визначення фазового складу порошкових композицій. Точність і чутливість аналізу. Основні етапи визначення атомно-кристалічної структури. Кількісний фазовий аналіз. Аналітичний метод індексування дифрактограм. (презентація)

Література [3] с. 383-406; [5] с. 80-104; [6] с. 57-67, с. 275-289

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

Лекція 12. Прецизійне визначення періодів кристалічної ґратки. Методи прецизійного визначення періоду кристалічної ґратки: методи зворотної зйомки. Метод графічної екстраполяції. Вибір випромінювання для прецизійного визначення періоду решітки.

Література [5] с. 42-49, [6] с. 245-247, с. 269-275 (презентація)

Лекція 13. 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. Визначення типу твердого розчину (презентація)

Література: [5] с. 42-49, [6] с. 245-247, с. 269-275

### **Розділ 3. Методи визначення дисперсності матеріалів**

Тема 3.1. Загальна характеристика рентгенівських методів визначення розміру кристалітів. Визначення розміру кристалітів методом підрахунку числа плям на дебаївському кільці та з використанням ефекту первинної екстинкції.

Лекція 14. Загальна характеристика рентгенівських методів визначення розміру кристалітів. Особливості рентгенівської дифракційної картини в залежності від розміру зерен/блоків/кристалітів. Визначення розміру кристалітів методом підрахунку числа плям на дебаївському кільці. (презентація) Визначення розміру кристалітів з використанням ефекту первинної екстинкції (за зменшенням інтенсивності дифракційних ліній внаслідок первинної екстинкції). Вплив ефекту первинної екстинкції на інтенсивність інтерференційних ліній. (презентація)

Література: [3] с. 306-310; [4] с. 127-130, [6] с. 200-204, 271-354

**Тематична контрольна робота 2** (перелік питань на тематичну контрольну роботу у Додатку А).

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

Лекція 15. 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.

Дидактичні засоби: презентація матеріалів лекції (презентація)

Література: [4] с.145-155; [6] с. 347-365.

Лекція 16. Визначення розмірів кристалітів/блоків/ділянок когерентного розсіювання (дисперсності кристалітів). Мікровикривлення кристалічної решітки. Розділення внеску дисперсності та мікровикривлень у фізичне розширення дифракційних ліній.

Дидактичні засоби: презентація матеріалів лекції (презентація)

Література: [4] с.145-155; [6] с. 347-365.

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

Лекція 17. 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. (презентація)

Література [6] с. 334-339.

Заняття 18. **Залік**

### 5.1 Перелік тем лабораторних занять

ауд. год.

Лабораторнезаняття 1. Ознайомлення студентів з вимогами щодо підготовки до лабораторних занять, правилами оформлення протоколів та захисту лабораторних робіт. Розрахунок та побудова теоретичних дифрактограм матеріалів в різних випромінюваннях	2
Лабораторнезаняття 2. Визначення типу кристалічних ґраток фазових складових. Індексуння дифрактограм/рентгенограм	2
Лабораторнезаняття 3. Явища, що відбуваються за взаємодії рентгенівських променів з речовиною. Визначення товщини покриття за ослабленням рентгенівських променів, дифрагованих матеріалом підкладки	2
Лабораторнезаняття 4. Рентгенівський фазовий аналіз складної речовини. Визначення якісного та кількісного фазового складу речовини.	2
Лабораторнезаняття 5. Прецизійне визначення параметрів елементарної комірки (параметрів ґратки) полікристалічних матеріалів.	2
Лабораторнезаняття 6. Напруження в речовині, їх класифікація. Визначення мікронапружень в матеріалах рентгенівським методом.	2
Лабораторнезаняття 7. Визначення розмірів ділянок когерентного розсіювання (ДКР) та величини мікронапружень в матеріалі, методи розділення	2

їх вкладу у розширення дифракційних профілів..

Лабораторнезаняття 8. Визначення розмірів ДКР та величини мікронапружень в матеріалі, методи розділення їх вкладу у розширення дифракційних профілів. 2

Лабораторнезаняття 9. Захист лабораторної роботи № 8. 2

Всього: 18

## 6. Самостійна робота студента

Самостійна робота студентів (загальна тривалість 66 годин) з дисципліни полягає в:

- самостійному опрацюванні літературних джерел для розширення розуміння лекційних тем (29 годин);
- підготовці до 2-х тематичних контрольних робіт (4 години)
- підготовці до виконання лабораторних робіт, аналізу одержаних результатів та формулюванні висновків – в розрахунку 1,5 години на 1 годину виконання лабораторних занять (27 годин);
- підготовці до підсумкової атестації – заліку (6 годин).

## 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 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 б. × 8), мінімально – 48 балів (6 б. × 8). 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 балів;
- робота виконана самостійно, але є неточності у розрахунках та оформленні (добре) – 8-7 балів;
- робота виконана самостійно, але є помилки у розрахунках та оформленні неповні відповіді на запитання (задовільно) – 7-6 балів;
- робота виконана несамостійно, є помилки у розрахунках та оформленні, незадовільні відповіді на запитання – 5 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 дослідження. У продовж тижня студенти дооформляють протокол лабораторної роботи відповідно до вимог завдання і на наступному занятті її захищають

– МКР розбита на 2 Тематичні контрольні роботи, які проводяться у вигляді тестів на 7-му та 14-му навчальних тижнях. Максимальна оцінка 10 балів за кожну 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 ТКР.

- повна відповідь – 10-9 балів;
- неповна відповідь – 8-7 балів;
- неповна відповідь з неточностями – 6-5 балів;
- незадовільна відповідь – 4 бали. і менше.

**Календарний контроль:** провадиться двічі на семестр на 7-8 та 14-15 тижні, як моніторинг поточного стану виконання вимог силябусу. Для позитивного першого календарного контролю

студент повинен отримати позитивні оцінки за захист лабораторних робіт №№ 1-3 (мінімальна позитивна оцінка 6 балів за кожну роботу, всього 18 балів за три роботи) та МКР № 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 №№ 4–7 (мінімальна позитивна оцінка 24 бали за 4 роботи) та МКР № 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 та кількості балів за видами:

- Тематичні контрольні роботи не менше 12 балів (ТРК № 1 не менше 6 балів; ТРК № 2 не менше 6 балів).
- Захист звітів з лабораторних робіт не менше 48 балів (6 б. × 8).

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, але у цьому випадку попередній рейтинг студента скасовується і він отримує оцінку з урахуванням результатів залікової контрольної роботи, згідно таблиці відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою.

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» (25-24 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 (алене менше 65 % потрібної інформації), студент задовільно засвоїв теоретичний матеріал, але допускає суттєві неточності, щодо використання отриманих знань;
- «достатньо» (16-15 балів), неповна відповідь (алене 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.

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)

- 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 ННІМЗ 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 перерахований як освітній компонент повністю, так і його окремі складові (змістовні модулі, окремі теми, окремі практичні заняття). Можливість перерахування (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 № 16 від 21 червня 23 р.)

**Погоджено:** Методичною комісією навчально-наукового Інституту матеріалознавства та зварювання імені Є. О. Патона (протокол № 12/23 від 28 червня 23 р.)

**ПЕРЕЛІК ПИТАНЬ,  
які виносяться на тематичні контрольні роботи**

**Тематична контрольна робота 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. Індекси 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?

### **Тематична контрольна робота 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  $\theta$  (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 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. Кутівий 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  $v_2/v_1$ ?
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  $K\alpha$ -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  $\alpha$ - і  $\beta$ -лінії на рентгенограмі? Чому вони виникають? Як позбутися  $\beta$ -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?