

Структурний аналіз матеріалів

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	<i>Перший (бакалаврський)</i>
Галузь знань	<i>13 Механічна інженерія</i>
Спеціальність	<i>132 Матеріалознавство</i>
Освітня програма	<i>Нанотехнології та комп'ютерний дизайн матеріалів</i>
Статус дисципліни	<i>Нормативна</i>
Форма навчання	<i>Очна (денна)/дистанційна/змішана</i>
Рік підготовки, семестр	<i>3 курс, осінній / весняний семестр</i>
Обсяг дисципліни	<i>4 кредити ЄКТС, 120 годин: лекції – 36 год.; лабораторні заняття 18 год.; СРС – 36 год.</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>Залік, МКР, ДКР</i>
Розклад занять	<i>http://rozklad.kpi.ua/</i>
Мова викладання	<i>Українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	<i>Лектор: к.т.н., доцент, Іващенко Євген Вадимович, тел. 096 875 5778, Telegram та Viber ivashchenkoe@ukr.net Лабораторні: к.т.н., стар. викл. Балахонова Наталія Олександрівна, тел. 066 463 5796, natasha.balakhonova@gmail.com</i>
Розміщення курсу	<i>Платформа Moodle</i>

Програма навчальної дисципліни

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

Освітній компонент належить до нормативних дисциплін циклу професійної підготовки освітньої програми першого (бакалаврського) рівня вищої освіти.

Предмет навчальної дисципліни: закономірності взаємодії рентгенівського випромінювання з речовиною та формування дифракційної картини, на основі якої здійснюється аналіз фазового складу та структурного стану кристалічних матеріалів.

Метою освітнього компонента є формування у студентів компетентностей і програмних результатів навчання у відповідності до ОПП, а саме:

<i>КС05</i>	<i>Здатність застосовувати системний підхід до вирішення інженерних матеріалознавчих проблем.</i>
<i>КС10</i>	<i>Здатність застосовувати навички роботи із випробувальним устаткуванням для вирішення матеріалознавчих завдань.</i>
<i>КС12</i>	<i>Здатність виконувати дослідницькі роботи в галузі матеріалознавства, обробляти та аналізувати результати експериментів.</i>
<i>ПРН 01</i>	<i>Володіти логікою та методологією наукового пізнання.</i>
<i>ПРН14</i>	<i>Використовувати у професійній діяльності експериментальні методи дослідження структурних, фізико-механічних, електрофізичних, магнітних, оптичних і технологічних властивостей матеріалів.</i>
<i>ПРН22</i>	<i>Використовувати базові методи аналізу речовин, матеріалів та відповідних процесів з коректною інтерпретацією результатів.</i>

ПРН24	<i>Знання технічних характеристик, умов роботи, застосування виробничого обладнання для обробки матеріалів та контрольно-вимірювальних приладів.</i>
ПРН26	<i>Знання основних технологій виготовлення, оброблення, випробування матеріалів та умов їх застосування.</i>
ПРН29	<i>Знання методів визначення фізичних та технологічних властивостей порошкових матеріалів.</i>

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

Освітній компонент базується на курсах: «Фізика», «Вища математика», «Хімія», «Кристалографія, кристалохімія та мінералогія», «Основи електротехніки та електроніки».

Освітній компонент є базовим для курсів: «Фізико-хімічні основи отримання металів, сплавів та сполук у дисперсному стані», «Матеріалознавство тугоплавких матеріалів», «Механічні властивості матеріалів», «Основи теорії процесів консолідації порошкових матеріалів».

3. Зміст навчальної дисципліни

Розділ 1. Структурний аналіз матеріалів

Тема 1.1. Спектроскопія рентгенівських променів

Тема 1.2. Взаємодія рентгенівських променів з речовиною

Тема 1.3. Реєстрація рентгенівських променів

Тема 1.4. Джерела рентгенівського випромінювання

Тема 1.5. Техніка безпеки при роботі в рентгенівських лабораторіях

Тема 1.6. Множники інтенсивності, поняття про динамічну теорію розсіювання

Тема 1.7. Оборнена ґратка. Рівняння Лауе

Тема 1.8 Метод порошоків або метод полікристалів (метод Дебая)

Тема 1.9 Вибір режимів зйомки рентгенограм

Тема 1.10 Розрахунок та індиціювання рентгенограм кристалів кубічної та середніх сингоній

Тема 1.11 Метод нерухомого монокристала (метод Лауе)

Тема 1.12 Метод обертання монокристала

Розділ 2. Інші методи аналізу

Тема 2.1. Прецизійне визначення періодів кристалічної ґратки фотометодом

Тема 2.2. Прецизійні визначення періодів кристалічної ґратки при реєстрації на дифрактометрі

Тема 2.3. Якісний фазовий аналіз

Тема 2.4. Кількісний фазовий аналіз

Тема 2.5. Методи та прилади рентгеноспектрального аналізу

Тема 2.6. Просвічуюча електронна мікроскопія

Тема 2.7. Растрова електронна мікроскопія

4. Навчальні матеріали та ресурси

Зазначені базові навчальні матеріали і ресурси є у вільному доступі у бібліотеці НТУУ КПІ ім. Ігоря Сікорського. Додаткові навчальні матеріали надаються для ознайомлення і глибшого розуміння предмету вивчення дисципліни.

Базова

1. Мудрий С. І. Рентгеноструктурний аналіз у матеріалознавстві : навч.-метод. посіб. [для вищ. навч. закл.] / С. І. Мудрий, Ю. О. Кулик, А.С. Якимович. – Львів : ЛНУ імені Івана Франка, 2017. – 226 с.
2. Казіміров В. П. Рентгенографія кристалічних матеріалів : навч. посіб. / В. П. Казіміров, Е. Б. Русанов. – Київ : ВПЦ "Київський університет", 2016. – 287 с.

Допоміжна

3. Зыман З. З. Введение в рентгенографию. Рентгеновские лучи и их взаимодействие с веществом : учебное пособие / З. З. Зыман, А. Ф. Сиренко. – Харьков : ХНУ имени В. Н. Каразина, 2013. – 472 с.
4. Русаков А. А. Рентгенография металлов : учебник для вузов / А. А. Русаков. – Москва : Атомиздат, 1977. – 480 с.
5. Горелик С. С. Рентгенографический и электронно-оптический анализ : учебное пособие для вузов / С.С Горелик, Ю.А. Скаков, Л.Н. Расторгуев. – 3-е изд. доп. и перераб. – Москва : МИСИС, 1994. – 328 с.
6. Кристаллография, рентгенография и электронная микроскопия / Я. С. Уманский, Ю. А. Скаков, А. Н. Иванов, Л. Н. Расторгуев. – Москва : Металлургия, 1982. – 632 с.
7. Горелик С. С. Рентгенографический и электронно-оптический анализ : практическое руководство / С. С. Горелик, Ю. А. Скаков, Л. Н. Расторгуев. – Издание второе, исправленное и дополненное. – Москва : Металлургия, 1970. – 366 с.
8. Приборы и методы физического металловедения / под ред. Ф. Вейнберга. – Вып. 1. – Москва : Мир, 1973. – 427 с.
9. Баррет Ч. С. Структура металлов : в 2-х ч. / Ч.С. Баррет, Т.Б. Массальский. – Москва : Металлургия, 1984. – Часть 2. – 685 с.
10. Батаев В.А. Методы структурного анализа материалов и контроля качества деталей / А. В. Батаев, А. А. Батаев. – Москва : Флинта; Наука, 2007. – 224 с.
11. Косьянов П. М. Рентгенофизический анализ неорганических веществ сложного химического состава : монография / П. М. Ксьянов. – Тюмень : ТИУ, 2016. – 195 с.
12. Иванов А. Н. Дифракционные методы исследования материалов : конспект лекций / А. Н. Иванов. – Москва : ГТУ «МИСиС», 2008. – 99 с.

Корисні посилання

13. Рентгеноструктурний аналіз — вікіпедія. <https://uk.wikipedia.org/wiki>
14. http://leksika.com.ua/18380919/ure/rentgenostrukturniy_analiz
15. Рентгеновский структурный анализ - физическая энциклопедия femto.com.ua › articles/part_2/3421.html.

Навчальний контент

5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Лекційні заняття

№	Назва теми лекції та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, посилання на літературу та завдання на СРС)
1	Вступ. Ознайомлення із організацією навчання з дисципліни і РСО. Мета і задачі дисципліни. Основні теми. Завдання на СРС. Література. Природа і властивості рентгенівських променів. Отримання рентгенівських променів. Виведення формули Вульфа-Бреггів. Розкладання рентгенівських променів в спектр. Суцільний (неперервний) спектр. Природа спектру. Графік спектру в координатах: інтенсивність – довжина хвилі. Наявність короткохвильової межі спектру. Пояснення її існування за формулою Ейнштейна. Залежність виду спектру від напруги, сили струму, матеріалу аноду в рентгенівських трубках. ККД спектру. Використання. Характеристичний рентгенівський

	<p>спектр. Умови виникнення. Спектральні серії: K, L, M, N. K-серія, довжини хвиль, інтенсивність ліній характеристичного спектру.</p> <p>Основна література: [1] – С. – 140-160, [2] – С. – 6-27, [5] – С. – 7-48, 81-102, [7] – С. – 68-79.</p> <p>Додаткова література: [3] – С. – 79-87.</p> <p>Завдання на СРС: вивчити теорію виникнення характеристичного спектру. Використання.</p>
2	<p>Основний закон послаблення монохроматичного рентгенівського випромінювання. Фотоефект, вторинне рентгенівське випромінювання. Оже-ефект. Визначення лінійного коефіцієнта ослаблення рентгенівських променів. Масовий коефіцієнт послаблення рентгенівських променів. Зв'язок між лінійним та масовим коефіцієнтом послаблення. Визначення шару половинного поглинання. Залежність від довжини хвилі. Пояснення. Коефіцієнти когерентного та некогерентного розсіювання.</p> <p>Основна література: [1] – С. – 147-153, [2] – С. – 13-27, [5] – С. – 17-48, [7] – С. – 75-79.</p> <p>Додаткова література: [3] – С. – 87-102.</p> <p>Завдання на СРС: розглянути виведення основного закону послаблення рентгенівських променів.</p>
3	<p>Іонізаційний метод. Лічильники квантів. Іонізаційні камери, пропорційні, сцинтиляційні та напівпровідникові лічильники, їх ефективність, мертвий час та амплітудна роздільність. Фотографічний метод. Рентгенівські плівки та їх характеристики. Почорніння та його визначення, зв'язок з інтенсивністю. Фотометричні криві.</p> <p>Основна література: [1] – С. – 153-160, [2] – С. – 41-61, [5] – С. – 81-102, [7] – С. – 84-86.</p> <p>Додаткова література: [3] – С. – 79-87.</p> <p>Завдання на СРС: розглянути люмінесцентний метод та його застосування. Ксерографічний метод та його можливості.</p>
4	<p>Рентгенівські трубки їх будова та принцип дії. Класифікація та маркування трубок, їх електричні характеристики. Інші джерела випромінювання. Рентгенівські апарати з фотореєстрацією (напівхвильові та множення напруги). Рентгенівські дифрактометри (будова, основні складові частини). Схема фокусування за Брегом-Брентано. Основні режими роботи дифрактометрів: неперервного запису та дискретного руху. Особливості будови та режимів зйомки дифрактометра Rigaku.</p> <p>Основна література: [2] – С. – 28-41, [3] – С. – 6-11, [4] – С. – 7-21, [5] – С. – 51-76, [7] – С. – 81-83.</p> <p>Додаткова література: [3] – С. – 102-132.</p> <p>Завдання на СРС: вивчити більш поглиблено рентгенівські дифрактометри (будова, основні складові частини). Схема фокусування за Брегом-Брентано. Основні режими роботи дифрактометрів: неперервного запису та дискретного руху.</p>
5	<p>Правила роботи із джерелами іонізуючого випромінювання. Заходи безпеки. Принцип роботи дозиметра ДРГЗ-02. Множники інтенсивності інтерференційних максимумів. Інтегральна інтенсивність. Структурний, атомний множники. Множник Лоренца. Множники повторюваності. Вплив поглинання на інтенсивність максимумів. Вплив теплових коливань атомів на інтенсивність розсіювання кристалами. Зведені формули для інтегральної інтенсивності дифракційних максимумів. Поняття про динамічну теорію розсіювання. Області когерентного розсіювання. Первинна та вторинна екстинкція.</p> <p>Основна література: [1] – С. – 186-204, [2] – С. – 112-149, [3] – С. – 26-28, 49-53, [4] – С. – 96-103, [5] – С. – 120-147, [7] – С. – 83-84.</p>

	<p><i>Додаткова література: [3] – С. – 143-148.</i></p> <p><i>Завдання на СРС: опрацювати матеріал по теоретичному розрахунку інтенсивностей ліній на рентгенограмі.</i></p>
6	<p><i>Розсіювання рентгенівських променів примітивною ґраткою. Виведення рівняння інтерференційної функції для атомного ряду, атомної площини та просторової ґратки у векторній формі при спрощуючих передумовах. Рівняння Лауе. Представлення інтерференційних рівнянь в просторі оберненої ґратки. Доведення еквівалентності трьох рівнянь Лауе рівнянню у векторній формі. Геометрична інтерпретація рівнянь Лауе в просторі оберненої ґратки. Сфера відбиття (Евальда).</i></p> <p><i>Основна література: [1] – С. – 160-180, [2] – С. – 81-83, 113-116, [5] – С. – 102-114.</i></p> <p><i>Додаткова література: [3] – С. – 83-87.</i></p> <p><i>Завдання на СРС: розглянути умови отримання «відбитих» рентгенівських променів від кристала. Рівняння Вульфа-Бреггів. Послідовність проведення характеристики методів структурного аналізу.</i></p>
7	<p><i>Інтерпретація метода в просторі оберненої ґратки. Дебаєвські конуси, інтерференційні лінії. Схеми зйомки рентгенограм та їх розшифровка.</i></p> <p><i>Основна література: [1] – С. – 239-247, [2] – С. – 188-196, [3] – С. – 28-30, [4] – С. – 60-70, [5] – С. – 202-220, 238-243, [7] – С. – 141-143, 158-161.</i></p> <p><i>Додаткова література: [3] – С. – 118-132.</i></p> <p><i>Завдання на СРС: вивчити прямий, обернений та асиметричний методи зйомки. Розрахунок ефективного діаметру камери. Зйомка, дебаєграм від плоского зразку. Формула Курдюмова.</i></p>
8	<p><i>Вибір матеріалу аноду рентгенівських трубок для зйомки зразків з різним атомним порядковим номером. Підбір селективно-поглинального фільтру. Використання кристалів-монокроматорів. Робоча напруга та сила струму на рентгенівській трубці. Підготовка зразків до зйомки.</i></p> <p><i>Основна література: [1] – С. – 239-247, [2] – С. – 188-196, [3] – С. – 28-30, [4] – С. – 60-70, [5] – С. – 202-220, 238-243, [7] – С. – 141-143, 158-161.</i></p> <p><i>Додаткова література: [3] – С. – 118-132.</i></p> <p><i>Завдання на СРС: більш поглиблено розглянути питання по підготовці зразків до зйомки з різним атомним порядковим номером.</i></p>
9	<p><i>Розрахунок рентгенограм порошкових зразків кубічної сингонії. Поправка на поглинання зразка. Видалення β-ліній. Визначення міжплощинних відстаней. Індиціювання рентгенограм аналітичним та графічним методом. Розрахунок та індиціювання рентгенограм кристалів середніх сингоній. Графіки Хелла-Деві, Б'єрнстрема. Визначення індексів інтерференцій. Розрахунок періодів ґратки.</i></p> <p><i>Основна література: [1] – С. – 239-247, 261-269, [2] – С. – 198-210, [3] – С. – 30-42, [4] – С. – 63-83, [5] – С. – 238-274, [7] – С. – 158-161.</i></p> <p><i>Додаткова література: [3] – С. – 132-143.</i></p> <p><i>Завдання на СРС: вивчити розрахунок дебаєграми. Індиціювання рентгенограм аналітичним та графічним методом.</i></p>
10	<p><i>Призначення метода нерухомого кристалу. Схема метода, реєстрація інтерференційної картини. Інтерпретація метода в просторі оберненої ґратки. Зональні еліпси та зональні гіперболи. Лауєграми та епіграми.</i></p> <p><i>Основна література: [1] – С. – 223-230, [2] – С. – 149-167, [3] – С. – 53-60, [4] – С. – 193-209,</i></p>

	<p>[5] – С. – 147-158, [7] – С. – 112-116.</p> <p>Завдання на СРС: розглянути основні етапи розрахунку лауеграм та епіграм.</p> <p>Підготуватись до першої частини модульної контрольної роботи.</p>
11	<p>Призначення методу обертання монокристалу, його інтерпретація в просторі оберненої ґратки. Рентгенограми обертання. Шарові лінії. Ефективна область для шарових ліній та для всього кристалу. Визначення розмірів ефективних областей.</p> <p>Написання модульної контрольної роботи (частина 1).</p> <p>Основна література: [1] – С. – 230-235, [2] – С. – 167-173, [3] – С. – 60-67, [4] – С. – 209-219, [5] – С. – 158-170, [7] – С. – 123-131.</p> <p>Додаткова література: [3] – С. – 102-118.</p> <p>Завдання на СРС: вивчити визначення розмірів ефективних областей для 0-ї шарової лінії та $n = + 1, n = + 2$.</p>
12	<p>Принципи прецизійних методів визначення періодів кристалічної ґратки. Джерела похибок в визначенні періодів кристалічної ґратки. Визначення залежності відносної похибки від кута ковзання θ. Інтервал кутів θ для прецизійного визначення періодів. Підбір матеріалу аноду для отримання рентгенівських ліній на великих кутах. Умови зйомки зразків в дебаєвській камері, що зменшують похибки в визначенні періоду ґратки. Використання камери оберненої зйомки КРОС. Умови фокусування за Заксом. Налаштування камери. Розрахунок рентгенограм КРОС при методі зйомки з еталоном.</p> <p>Основна література: [1] – С. – 269-275, [2] – С. – 219-247, [3] – С. – 42-49, [4] – С. – 83-94, [5] – С. – 256-271, [7] – С. – 165-167.</p> <p>Додаткова література: [3] – С. – 148-167.</p> <p>Завдання на СРС: розглянути розрахунок рентгенограм КРОС при методі зйомки без еталона.</p>
13	<p>Режими зйомки на дифрактометрі. Дискретний та неперервний режими. Методи розділення $k\alpha$-дублету. Особливості роботи дифрактометра «Ultima 4». Метод Речінгера. Приклад графічного розділення $k\alpha$-дублету. Визначення центру ваги профіля $k\alpha_1$ та $k\alpha_2$ ліній. Розрахунок періоду кристалічної ґратки. Методи графічної електрополяції: метод Бредлі і Джея, метод Нельсона і Райлі.</p> <p>Основна література: [1] – С. – 269-275, [2] – С. – 315-316, [3] – С. – 42-49, [4] – С. – 83-94, [5] – С. – 271-273, [7] – С. – 165-167.</p> <p>Додаткова література: [3] – С. – 148-167.</p> <p>Завдання на СРС: більш детально вивчити методи графічної електрополяції: метод Бредлі і Джея, метод Нельсона і Райлі.</p>
14	<p>Методи проведення фазового аналізу, його чутливість. Способи підвищення чутливості фазового аналізу. Визначення фазового складу за допомогою таблиць, карток, теоретичних розрахунків рентгенограм. Режим зйомки при фазовому аналізі. Основні принципи кількісного фазового аналізу. Метод гомологічних пар. Умови використання методу, способу побудови таблиць гомологічних пар. Метод внутрішнього стандарту. Побудова градуіровочної кривої. Визначення вмісту порошкових сумішей. Метод зовнішнього стандарту. Похибки кількісного фазового аналізу.</p> <p>Основна література: [1] – С. – 275-276, 281-293, [2] – С. – 383-407, [3] – С. – 80-114, [4] – С. – 106-118, 121-126, [5] – С. – 366-376.</p> <p>Завдання на СРС: вивчити метод багатоканального дифрактометру.</p>
15	<p>Переваги рентгеноспектрального аналізу перед іншими методами визначення хімічного</p>

	<p>складу. Класифікація методів рентгеноспектрального аналізу. Флуоресцентрий метод. Емісійний та адсорбційний методи. Переваги та недоліки методів. Прилади рентгеноспектрального аналізу. Мікрорентгеноспектральний аналіз. Фізична суть методу. Будова та основні вузли мікроаналізатора.</p> <p>Основна література: [1] – С. – 567-572, [2] – С. – 426-445, [3] – С. – 239-250, [4] – С. – 299-317, [5] – С. – 432-443.</p> <p>Додаткова література: [3] – С. – 207-218.</p> <p>Завдання на СРС: розглянути спектрометр з плоским кристалом. Спектрографи з фокусуванням за Йоганном, Йоганссоном та Кошуа.</p>
16	<p>Взаємодія електронів з речовиною. Можливості методу. Електронномікроскопічне зображення та мікродифракція. Оптична схема та принцип дії електронного мікроскопу. Режими роботи мікроскопу. Основна література: [1] – С. – 424-480, [3] – С. – 204-221, [4] – С. – 257-288.</p> <p>Додаткова література: [3] – С. – 245-271.</p> <p>Завдання на СРС: опрацювати питання про електронну гармату, електромагнітні лінзи. Контраст та формування зображення в електронному мікроскопі.</p> <p>Підготуватись до другої частини модульної контрольної роботи.</p>
17	<p>Підготовка об'єктів дослідження для електронномікроскопічного аналізу. – дисперсні порошки, тонкі фольги, репліки. Методи підготовки об'єктів дослідження. Розрахунок мікроелектронограм.</p> <p>Основна література: [1] – С. – 424-480, [3] – С. – 204-221, [4] – С. – 257-288.</p> <p>Додаткова література: [3] – С. – 245-271.</p> <p>Завдання на СРС: опрацювати питання про електронну гармату, електромагнітні лінзи. Контраст та формування зображення в електронному мікроскопі.</p> <p>Підготуватись до другої частини модульної контрольної роботи.</p>
18	<p>Принцип растрової електронної мікроскопії. Принципова схема растрового мікроскопу. Використання вторинних електронів та відбитих електронів. Велика глибина фокуса. Об'єкти дослідження. Фрактографія.</p> <p>Написання модульної контрольної роботи (частина 2).</p> <p>Основна література: [1] – С. – 549-565, [3] – С. – 235-239, [4] – С. – 257-288.</p> <p>Додаткова література: [3] – С. – 245-271.</p> <p>Завдання на СРС: опрацювати питання про підготовку зразків для растрової мікроскопії.</p>

Лабораторні заняття

Основні завдання циклу лабораторних занять полягають у поглибленні теоретичних знань з дисципліни та набутті студентами уміння самостійно виконувати експерименти із застосуванням відповідного обладнання; умінні обирати необхідні методи дефектоскопічного аналізу, відповідне обладнання для проведення досліджень матеріалів на основі їх класифікаційних ознак; засвоєнні принципу роботи обладнання.

№	Назва теми лабораторної роботи та перелік завдань на СРС	Кіл-ть год.
1	<p>Тема роботи: Вступне заняття.</p> <p>Мета роботи: Техніка безпеки під час роботи з іонізуючим випромінюванням. Дозиметрія та захист від рентгенівського випромінювання. Завдання на СРС. Підготувати протокол. Опанувати теоретичні відомості. Виконати необхідні розрахунки Сформулювати висновки.</p>	2

2	<p><i>Тема роботи: Рентгенотехніка.</i></p> <p><i>Мета роботи: Будова та принцип роботи рентгенівських трубок та рентгенівських апаратів. Завдання на СРС. Підготувати протокол. Опанувати теоретичні відомості. Виконати необхідні розрахунки Сформулювати висновки</i></p>	2
3	<p><i>Тема роботи: Одержання та розрахунок порошкових рентгенограм методом Дебая.</i></p> <p><i>Мета роботи: виготовлення зразків та настройка камери Дебая. Завдання на СРС. Підготувати протокол. Опанувати теоретичні відомості. Виконати необхідні розрахунки Сформулювати висновки</i></p>	2
4	<p><i>Тема роботи: Аналіз Дебаєграм.</i></p> <p><i>Мета роботи: Розрахунок рентгенограми полікристалічної речовини кубічної сингонії. Завдання на СРС. Підготувати протокол. Опанувати теоретичні відомості. Виконати необхідні розрахунки Сформулювати висновки</i></p>	2
5	<p><i>Тема роботи: Прецизійне визначення періодів кристалічної ґратки</i></p> <p><i>Мета роботи: визначення періодів кристалічної ґратки за допомогою точної експериментальної техніки (зйомка в камері КРОС). Еталонний метод. Завдання на СРС. Підготувати протокол. Опанувати теоретичні відомості. Виконати необхідні розрахунки Сформулювати висновки.</i></p>	2
6	<p><i>Тема роботи: Якісний фазовий аналіз</i></p> <p><i>Мета роботи: Якісний фазовий аналіз азотованного шару. Завдання на СРС. Підготувати протокол. Опанувати теоретичні відомості. Виконати необхідні розрахунки Сформулювати висновки.</i></p>	2
7	<p><i>Тема роботи: Будова та принцип роботи просвічуючого (трансмісійного) електронного мікроскопу.</i></p> <p><i>Мета роботи: Виготовлення об'єктів дослідження для електронномікроскопічного аналізу. Завдання на СРС. Підготувати протокол. Опанувати теоретичні відомості. Виконати необхідні розрахунки. Сформулювати висновки.</i></p>	2
8	<p><i>Тема роботи: Прецизійне визначення періодів кристалічної ґратки методом Речінгера.</i></p> <p><i>Мета роботи: Розділення $K\alpha$-дублету методом Речінгера. Завдання на СРС. Підготувати протокол. Опанувати теоретичні відомості. Виконати необхідні розрахунки. Сформулювати висновки.</i></p>	2
9	Залік	2

6. Самостійна робота студента/аспіранта

Вид самостійної роботи студента	Кількість робіт	Норма часу на роботу, год.	Термін часу, год.
Засвоєння додаткових питань до лекцій	18	0,5	9
Підготовка до лабораторних робіт та опрацювання результатів	8	1,5	12
Підготовка до МКР (2 частини)	2	2	4

Виконання ДКР	1	5	5
Підготовка до заліку	1	6	6
Всього			36

Згідно робочого навчального плану для студентів передбачається виконання двох частин модульної контрольної роботи (МКР) та домашньої контрольної роботи (ДКР). Метою контрольних робіт є засвоєння навчального матеріалу поданого на лекціях, на лабораторних заняттях та під час самостійної роботи з акцентом на проведення розрахунків. Перелік питань до МКР наведений в додатку Б. Варіанти завдань до ДКР наведені в Додатку В.

Політика та контроль

7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

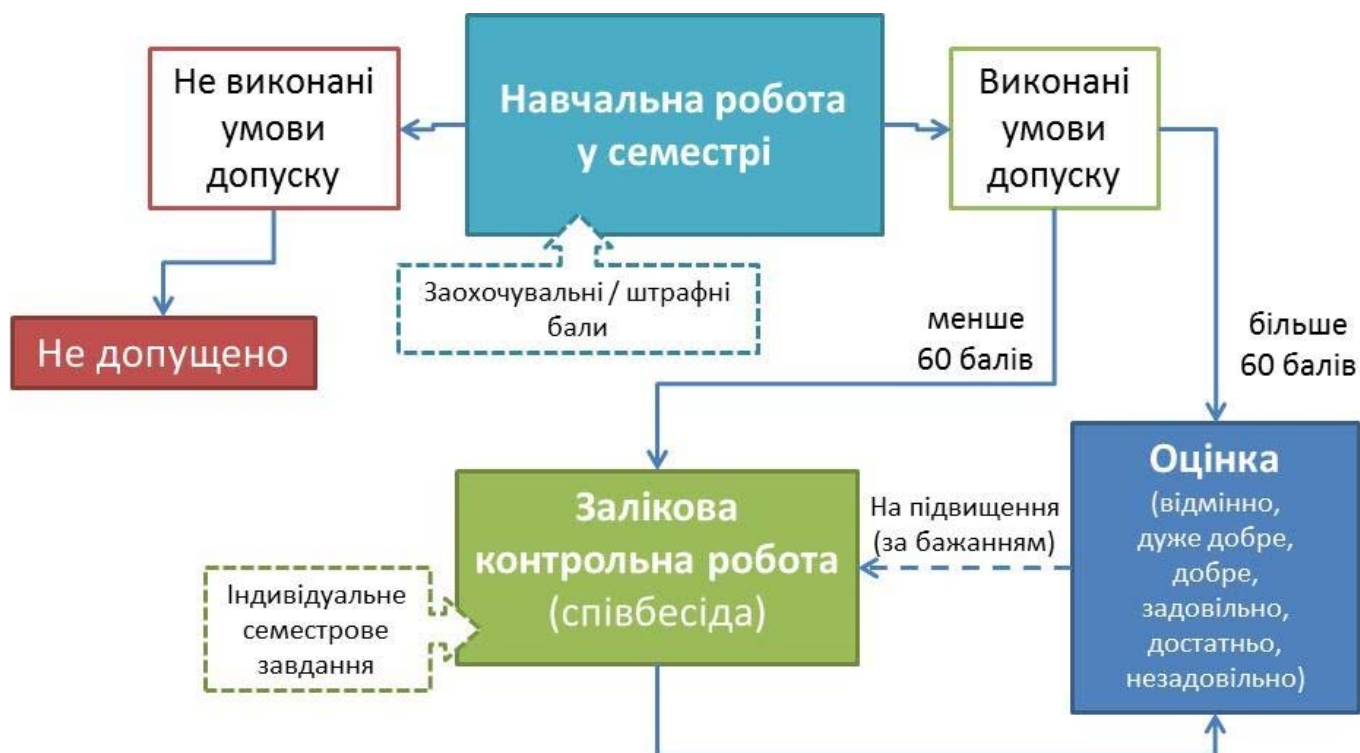
1. У разі спізнення на заняття, студенту необхідно, не заважаючи іншим, зайти в клас та зайняти своє місце. Користуватись мобільним телефоном під час занять можна тільки з дозволу викладача. Звук мобільного телефону повинен бути вимкнений. У разі важливих вхідних дзвінків необхідно спитати дозволу викладача, вийти в коридор і провести розмову там.
2. Працюючи на лекційних заняттях студент повинен вести конспект. Пропущені лекційні заняття студенту необхідно опрацювати та законспектувати самостійно (у випадку змішаного/дистанційного навчання робиться відеозапис лекцій). Теми або окремі питання, які виносяться на самостійний розгляд, також повинні бути опрацьовані та законспектовані.
3. Результати лабораторних робіт студенту необхідно оформити у вигляді протоколу та захистити його. У разі пропуску занять з лабораторних робіт необхідно попередити викладача і домовитись про відпрацювання.
4. Під час проведення контрольних заходів забороняється користуватися мобільними телефонами, і допомогою інших. У випадку пропуску контрольних заходів, необхідно за домовленістю з викладачем пройти їх в інший час.
5. У разі змішаного/дистанційного навчання, студент повинен забезпечити себе персональним комп'ютером з доступом до інтернету і встановленим програмним забезпеченням ZOOM, та будь-яким браузером.
6. Під час навчання студенту необхідно дотримуватись Правил внутрішнього розпорядку (<https://kpi.ua/admin-rule>) та політики академічної доброчесності, які визначені у розділі 3 Кодексу честі Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (<https://kpi.ua/code>).

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

Контрольні заходи:

1. **Поточний контроль:** виконання лабораторних завдань, МКР, ДКР.
2. **Календарний контроль:** проводиться двічі на семестр як моніторинг поточного стану виконання вимог силябусу.
3. **Семестровий контроль:** залік.

Оцінювання результатів навчання відбувається за схемою:



Таблиця видів контролю та максимальної кількості балів за них.

Вид контролю	Кількість	Максимальна кількість балів за кожну	Максимальна кількість балів
Захист лабораторних робіт	8	5	40
ДКР	1	20	20
МКР (2 частини)	2	20	40
Всього			100

Всього проводиться 8 лабораторних робіт, кожна з яких оцінюється за критеріями:

Критерії	Бали
до оформлення роботи немає зауважень, дані правильні відповіді при захисті роботи	5
є не принципові зауваження до оформлення роботи та/або дані відповіді з помилками при захисті роботи	3-4
є принципові зауваження до оформлення роботи та/або не дані відповіді (дані неправильні) при захисті роботи	робота не здана

Програма передбачає написання 1 ДКР. Варіанти завдань для ДКР наведені в Додатку В. ДКР оцінюється за критеріями:

Критерії	Бали
завдання виконано правильна, можливі несуттєві зауваження	18-20
хід виконання завдання правильний, але отримані результати не повністю вірні та/або є не принципові помилки (похибки обчислень)	15-17
хід виконання завдання в цілому правильний, але є принципові помилки які не дозволяють отримати правильний результат	12-14
хід виконання завдання не правильний	0

МКР складається з двох частин. Перелік питань наведений у Додатку Б. Кожен варіант складається з 4 питань. Кожне питання оцінюється максимум в 5 бали за наступними критеріями:

Критерії	Бали
відповідь правильна, питання розкрито	5
відповідь з несуттєвими помилками, та/або питання розкрито не повністю	3-4
у відповіді суттєві помилки (відповідь неправильна), та/або питання не розкрито	не зарахована

Таким чином за кожну частину МКР здобувач може отримати максимум 20 балів, а за дві частини – 40.

Перший календарний контроль проводиться на 8 тижні і на момент його проходження здобувач може отримати максимум 4(лаб)х5=20 бали. Здобувач вважається атестованим якщо набрав більше 10 балів.

Другий календарний контроль проводиться на 14 тижні і на момент його проходження здобувач може отримати максимум 7(лаб)х5+20(1 частина МКР)=55 бали. Здобувач вважається атестованим якщо набрав більше 27 балів.

Сумарно за роботу в семестрі здобувач може отримати 40(лаб)+20(ДКР)+40(МКР)=100 балів. Умовою допуску до заліку є захист всіх лабораторних робіт, зараховані обидві частини МКР і ДКР. Семестровий рейтинг можна підвищити за рахунок заохочувальних балів (максимум на 10) шляхом виконання додаткових індивідуальних завдань (видає викладач).

Зі здобувачами, які виконали всі умови допуску до заліку та мають рейтингову оцінку менше 60 балів, а також з тими здобувачами, хто бажає підвищити свою рейтингову оцінку, на останньому за розкладом занятті з дисципліни в семестрі викладач проводить семестровий контроль у вигляді залікової контрольної роботи. Залікова контрольна робота проводиться у вигляді тестування. Слухачу надається 20 тестових завдань. За кожну правильну відповідь студент отримує 5 балів. Якщо сумарна кількість отриманих балів менше 60, то залік вважається не зданим (незадовільно). Для перескладання заліку є дві додаткові спроби.

У випадку успішного виконання залікової контрольної роботи (кількість балів 60 і більше), якщо оцінка за залікову контрольну роботу більша ніж за рейтингом, здобувач отримує оцінку за результатами залікової контрольної роботи. Якщо оцінка за залікову контрольну роботу менша ніж за рейтингом, застосовується «жорстка» РСО – попередній рейтинг здобувача скасовується і він отримує оцінку залікової контрольної роботи.

У випадку змішаного/дистанційного навчання залікова контрольна робота може бути замінена на співбесіду (ті самі 20 тестових запитань, але в усному режимі).

Отриманні слухачем рейтингові бали переводять в університетські оцінки за 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)

- *Весь контроль здійснюється через відповідні розділи в системі "Електронний кампус". Відомості для контролю відкриваються та закриваються в певний час, про який заздалегідь повідомляють. Для перескладання заліку студент має дві спроби, які також лімітовані по часу.*
- *У разі змішаного/дистанційного навчання спілкування з викладачем відбувається через Telegram та Viber.*
- *Студенти мають змогу самостійно пройти комп'ютерне тестування через платформу Moodle для перевірки своїх знань щодо підготовки до модульної контрольної роботи (посилання надає викладач).*
- *Результати навчання за даним освітнім компонентом, 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 лабораторні чи 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" (<https://osvita.kpi.ua/node/179>).*
- *Перелік питань до семестрового контролю наведено в Додатку А.*

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено доцентом кафедри ФМТО, к.т.н., Іващенко Євгеном Вадимовичем та
доцентом кафедри ФМТО, к.т.н., Лобачовою Галиною Геннадіївною

Ухвалено кафедрою фізичного матеріалознавства та термічної обробки (протокол № 05 від 01.07.2022 р.)
кафедрою високотемпературних матеріалів та порошкової металургії
(протокол №21 від 08.07.2022 р.)

Погоджено Методичною комісією ІМЗ ім. Є. О. Патона (протокол № 10/22 від 10.07.2022 р.)

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

До залікової контрольної роботи з освітнього компоненту “Структурний аналіз матеріалів”

1. Виникнення рентгенівських променів та їхня природа.
2. Природа та властивості рентгенівських променів.
3. Виведення формули Вульфа-Бреггів.
4. Рентгенівські спектри. Неперервний рентгенівський спектр.
5. Рентгенівські спектри. Характеристичний рентгенівський спектр.
6. Виникнення характеристичного рентгенівського спектру. Закон Мозлі.
7. Взаємодія рентгенівських променів з речовиною.
8. Основний закон послаблення рентгенівських променів.
9. Масовий та лінійний коефіцієнт поглинання рентгенівських променів.
10. Явища, що супроводжують проходження рентгенівських променів крізь речовину.
11. Істинне атомне поглинання рентгенівських променів.
12. Когерентне розсіювання рентгенівських променів.
13. Некогерентне розсіювання рентгенівських променів.
14. Розсіювання монохроматичного випромінювання полікристалічним зразком.
15. Поглинання рентгенівських променів речовиною. Селективно-поглинаючі фільтри, їх підбір та використання.
16. Властивості векторів оберненої ґратки.
17. Основне рівняння дифракції рентгенівських променів. Векторна форма рівняння Лауе.
18. Виведення рівняння Вульфа-Бреггів з рівняння Лауе.
19. Характеристика основних методів рентгеноструктурного аналізу. Побудова сфери Евольда та оберненої ґратки.
20. Метод полікристалів. Аналіз методу за допомогою оберненої ґратки.
21. Метод Лауе. Аналіз методу за допомогою оберненої ґратки. Задачі, які розв’язуються цим методом.
22. Метод обертання монокристалу. Аналіз методу за допомогою оберненої ґратки.
23. Прецизійні методи визначення періоду кристалічної ґратки.
24. Прецизійне визначення періоду кристалічної ґратки за допомогою фотометоду.
25. Метод розрахунку рентгенограм, знятих в камері КРОС. Еталонний метод.
26. Метод розрахунку рентгенограм, знятих в камері КРОС. Безеталонний метод.
27. Умова фокусування в камері КРОС (за Заксом) та настройка камери.
28. Прецизійне визначення періоду кристалічної ґратки за допомогою дифрактометра.
29. Прецизійне визначення періодів ґратки. Метод екстраполяції.
30. Метод Речінгера (розділення k_{α} -дублету).
31. Якісний фазовий аналіз. Підвищення чутливості методу.
32. Кількісний фазовий аналіз. Метод підмішування еталону.
33. Кількісний фазовий аналіз. Метод зовнішнього стандарту.
34. Кількісний фазовий аналіз. Метод гомологічних пар.
35. Кількісний фазовий аналіз. Метод зйомки на дифрактометрі.
36. Характеристика емісійного методу рентгеноспектрального аналізу.
37. Характеристика флуоресцентного методу рентгеноспектрального аналізу.
38. Типи рентгенівських спектрографів та спектрометрів. Спектрометр з плоским кристалом.
39. Рентгеноспектральний аналіз. Багатоканальний флуоресцентний спектрометр та рентгенофлуорисцентні бездисперсійні апарати.
40. Локальний рентгеноспектральний аналіз.
41. Трансмісійна електронна мікроскопія.
42. Растрова електронна мікроскопія.

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ**до модульної контрольної роботи****Модульна контрольна робота, частина 1 (Розділ 1. Фізика рентгенівських променів.
Рентгеноструктурний аналіз).**

1. Виникнення рентгенівських променів та їхня природа.
2. Природа та властивості рентгенівських променів.
3. Виведення формули Вульфа-Бреггів.
4. Рентгенівські спектри. Неперервний рентгенівський спектр.
5. Рентгенівські спектри. Характеристичний рентгенівський спектр.
6. Виникнення характеристичного рентгенівського спектру. Закон Мозлі.
7. Взаємодія рентгенівських променів з речовиною.
8. Основний закон послаблення рентгенівських променів.
9. Масовий та лінійний коефіцієнт поглинання рентгенівських променів.
10. Явища, що супроводжують проходження рентгенівських променів крізь речовину.
11. Істинне атомне поглинання рентгенівських променів.
12. Когерентне розсіювання рентгенівських променів.
13. Некогерентне розсіювання рентгенівських променів.
14. Розсіювання монохроматичного випромінювання полікристалічним зразком.
15. Поглинання рентгенівських променів речовиною. Селективно-поглинаючі фільтри, їх підбір та використання.
16. Властивості векторів оберненої ґратки.
17. Основне рівняння дифракції рентгенівських променів. Векторна форма рівняння Лауе.
18. Виведення рівняння Вульфа-Бреггів з рівняння Лауе.
19. Характеристика основних методів рентгеноструктурного аналізу. Побудова сфери Евольда та оберненої ґратки.
20. Метод полікристалів. Аналіз методу за допомогою оберненої ґратки.
21. Метод Лауе. Аналіз методу за допомогою оберненої ґратки. Задачі, які розв'язуються цим методом.
22. Метод обертання монокристалу. Аналіз методу за допомогою оберненої ґратки.

Модульна контрольна робота, частина 2 (Розділ 2. Інші методи аналізу сплавів).

1. Прецизійні методи визначення періоду кристалічної ґратки.
2. Прецизійне визначення періоду кристалічної ґратки за допомогою фотометоду.
3. Метод розрахунку рентгенограм, знятих в камері КРОС. Еталонний метод.
4. Метод розрахунку рентгенограм, знятих в камері КРОС. Безеталонний метод.
5. Умова фокусування в камері КРОС (за Заксом) та настройка камери.
6. Прецизійне визначення періоду кристалічної ґратки за допомогою дифрактометра.
7. Прецизійне визначення періодів ґратки. Метод екстраполяції.
8. Метод Речінгера (розділення k_{α} -дублету).
9. Якісний фазовий аналіз. Підвищення чутливості методу.
10. Кількісний фазовий аналіз. Метод підмішування еталону.
11. Кількісний фазовий аналіз. Метод зовнішнього стандарту.
12. Кількісний фазовий аналіз. Метод гомологічних пар.
13. Кількісний фазовий аналіз. Метод зйомки на дифрактометрі.
14. Характеристика емісійного методу рентгеноспектрального аналізу.
15. Характеристика флуоресцентного методу рентгеноспектрального аналізу.
16. Типи рентгенівських спектрографів та спектрометрів. Спектрометр з плоским кристалом.
17. Рентгеноспектральний аналіз. Багатоканальний флуоресцентний спектрометр та рентгенофлуорисцентні бездисперсійні апарати.
18. Локальний рентгеноспектральний аналіз.

Завдання для виконання домашньої контрольної роботи.

Мета домашньої контрольної роботи – освоєння методів розрахунку та аналізу даних рентгеноструктурних досліджень матеріалів.

1. Визначити довжину хвилі випромінювання (α_1 та α_2 ліній) та за результатами розрахунку вказати матеріал аноду, користуючись даними після проведення спектрограми невідомого випромінювання з використанням кристалу-аналізатора кварцу з міжплощинною відстанню $d = 3,350$? (площини паралельні до поверхні зразка), порядок відбиття n та кут відбиття 2θ наступний:

№ варіанту	1-5	6-10
n	2	3
2θ	$\alpha_1: 70,76$ $\alpha_2: 70,96$	$\alpha_1: 120,66$ $\alpha_2: 121,00$

2. Використовуючи закон Мозлі, визначити довжину хвилі для випромінювання ($R = 109737,303 \text{ см}^{-1}$; $m=2$; $n=1$; $\sigma = 1$)

№ варіанту	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Матеріал	Ti	V	Fe	Co	Ni	Cu	Mo	Mn	W	Cr

3. Знайти лінійний коефіцієнт послаблення матеріалу, зазначеного в таблиці, якщо відомі густина речовини та масовий коефіцієнт поглинання.

№ варіанту	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Матеріал	Fe	Cu	Be	Co	W	Al	Ti	Ni	Zn	Zr
$\rho, \text{ г/см}^3$	7,87	8,96	1,82	8,9	19,3	2,7	4,54	8,9	7,13	6,5
μ_m	59,5	98,8	3,24	19,3	14,2	101,5	377	75,1	88,5	260

4. Здійснити підбір селективно-поглинального фільтру для матеріалу аноду, наведеного в таблиці

№ варіанту	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Матеріал	Ag	V	Fe	Co	Ni	Cu	Mo	Mn	Nb	Cr

5. Знайти лінійний коефіцієнт послаблення матеріалу фольги, якщо інтенсивність падаючих рентгенівських променів $I_0=105803$ та інтенсивність променів, які пройшли крізь речовину $I_t=49039$ при відомій товщині фольги

№ варіанту	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Товщина фольги, мм	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,1

6. Визначити товщину фольги з матеріалу наведеного в таблиці, знаючи інтенсивність падаючих рентгенівських променів $I_0=105803$, інтенсивність променів, які пройшли крізь речовину $I_t=84994$, масовий коефіцієнт послаблення μ_m та густину ρ матеріалу фольги.

№ варіанту	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Матеріал	Fe	Cu	Be	Co	W	Al	Ti	Ni	Zn	Zr
ρ , г/см ³	7,87	8,96	1,82	8,9	19,3	2,7	4,54	8,9	7,13	6,5
μ_m	59,5	98,8	3,24	19,3	14,2	101,5	377	75,1	88,5	260

7. Розрахувати період кубічної кристалічної ґратки металу a , знаючи довжину хвилі λ випромінювання, кут відбиття θ та індекси відбиваючої площини (hkl).

№ варіанту	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Випромінювання	Fe					Cu				
λ , ?	1,93728					1,54178				
θ°	28,6	55,98	42,47	72,88	73,2	61,21	62,68	49,09	32,21	27,19
(hkl)	110	211	200	220	220	222	311	220	200	111

8. Визначити період кристалічної ґратки матеріалу, знятого у Со-випромінюванні (λ_{α} середнє = 1,79021 ?) користуючись наведеними даними

Побудувати графік залежності $f(\theta) = \cos^2 \theta$

З побудованого графіку знайти $a_{\text{екстапол.}}$, ?

1-5 варіант	№ лінії	(HKL)	θ , °	$\sin\theta$	a , ?	$\cos^2\theta$	$a_{\text{екстапол.}}$, ?
	2	111	26,1				
	4	200	30,55				
	6	220	45,9				
	9	311	57,4				
	10	222	61,65				
6-7 варіант	№ лінії	(HKL)	θ , °	$\sin\theta$	a , ?	$\cos^2\theta$	$a_{\text{екстапол.}}$, ?
	2	110	26,2				
	4	200	38,65				
	6	211	49,9				
	8	220	62,05				
	11	310	80,95				