



РЕНТГЕНІВСЬКА ДИФРАКТОМЕТРІЯ

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	<i>Перший (бакалаврський)</i>
Галузь знань	13 Механічна інженерія ¹
Спеціальність	132 Матеріалознавство
Освітня програма	Інжиніринг та комп'ютерне моделювання в матеріалознавстві
Статус дисципліни	Вибіркова
Форма навчання	очна(денна)
Рік підготовки, семестр	3 курс, весняний семестр
Обсяг дисципліни	4,0 кредити ECTS (120 год), лекції – 36 год; лабораторні заняття – 18 год; СРС – 66 год
Семестровий контроль/ контрольні заходи	Залік, МКР
Розклад занять	https://Rozklad.kpi.ua
Мова викладання	Українська
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лекції: Іващенко Є.В. , доцент, к.т.н., , Лабораторні: Іващенко Є.В. , доцент, к.т.н., , тел. 096 875 57 78, Telegram та Viber, ivashchenkoe@ukr.net
Розміщення курсу	<i>Moodle</i> , https://do.ipk.kpi.ua/course/view.php?id=6591

Програма навчальної дисципліни

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

Навчальна дисципліна належить до переліку вибірових дисциплін циклу професійної підготовки освітньої програми першого рівня вищої освіти – бакалавра та складається з одного кредитного модулю.

Предмет навчальної дисципліни: вивчення і освоєння дифрактометричних методів дослідження структурно-фазового стану сплавів дає можливість суттєво підвищити точність і чутливість аналізу у порівнянні з фотографічним методом та скоротити тривалість рентгеноструктурного дослідження. Це значно розширює перелік задач, які можуть бути розв'язані з використанням дифрактометрів – визначення фазового складу, структурних змін, наявності макронапружень і мікронапружень, змін періодів кристалічної ґратки, розмірів областей когерентного розсіювання. Ознайомлення з новітніми типами дифрактометрів.

Метою навчальної дисципліни є формування у студентів компетентностей у відповідності до ОПП, а саме:

- КЗ.01 Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу.
- КЗ.02 Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.
- КЗ.03 Здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями.
- КЗ.04 Здатність виявляти, ставити та вирішувати проблеми.
- КЗ.05 Здатність приймати обґрунтовані рішення.
- КЗ.06 Здатність до адаптації та дії в новій ситуації.

КС.01 Здатність застосовувати відповідні кількісні математичні, фізичні і технічні методи і комп'ютерне програмне забезпечення для вирішення інженерних матеріалознавчих завдань.

КС.05 Здатність застосовувати системний підхід до вирішення інженерних матеріалознавчих проблем.

КС.10 Здатність застосовувати навички роботи із випробувальним устаткуванням для вирішення матеріалознавчих завдань.

КС.12 Здатність виконувати дослідницькі роботи в галузі матеріалознавства, обробляти та аналізувати результати експериментів.

КС.18 Здатність оцінити доцільність використання покриттів для виробів різного призначення з метою їх зміцнення чи захисту.

Основні завдання навчальної дисципліни.

Згідно з вимогами освітньо-професійної програми студенти після засвоєння навчальної дисципліни мають продемонструвати такі **програмні результати навчання**:

ПРН 9 Експериментувати та аналізувати дані.

ПРН 10 Поєднувати теорію і практику для розв'язання завдань матеріалознавства.

ПРН 19 Обирати і застосовувати придатні типові методи дослідження (аналітичні, розрахункові, моделювання, експериментальні); правильно інтерпретувати результати таких досліджень та робити висновки.

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

Навчальна дисципліна базується на курсах: Фізика, Вища математика, Хімія, Кристалографія, кристалохімія та мінералогія, Методи структурного аналізу матеріалів.

3. Зміст навчальної дисципліни

Розділ 1. Будова і робота дифрактометра

Тема 1.1 Джерела рентгенівського випромінювання.

Тема 1.2 Нові джерела випромінювання. Вимірювальні пристрої.

Тема 1.3 Гоніометричний пристрій дифрактометра.

Тема 1.4 Високотемпературні приставки до гоніометрів.

Тема 1.5 Низькотемпературні приставки до гоніометрів.

Тема 1.6 Пристрій для дослідження радіоактивних зразків.

Тема 1.7 Юстирування та регулювання дифрактометра.

Розділ 2 Нові типи дифрактометрів і особливості їх конструкції і функціонування

Тема 2.1 Дифрактометри загального призначення.

Тема 2.2 Спеціалізовані дифрактометри.

Тема 2.3 Особливості конструкції і роботи дифрактометра «Ultima 4» фірми «Rigaku».

Розділ 3 Проведення досліджень на дифрактометрі

Тема 3.1. Дослідження фазового складу на дифрактометрі.

Тема 3.2 Прецизійне визначення періодів кристалічної ґратки на дифрактометрі

Тема 3.3 Визначення мікронапружень та ОКР на дифрактометрі.

Тема 3.4 Дослідження зональних напружень.

Тема 3.5 Дослідження монокристалів на дифрактометрі.

4. Навчальні матеріали та ресурси

Базова література

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. – 178 с.
2. Казіміров В. П. Рентгенографія кристалічних матеріалів : навч. посіб. / В. П. Казіміров, Е. Б. Русанов. – К. : ВПЦ "Київський університет", 2016. – 287 с.
3. Смоляков О.В. Дифракційні методи дослідження: навчальний посібник для студентів освітньо - кваліфікаційного рівня «бакалавр» напрямів підготовки «Фізика» та «Прикладна фізика»./ О.В. Смоляков, В.В. Гіржон. – Запоріжжя: ЗНУ, 2014. – 90 с.
4. Архіпова, Т. Ф. А87 Прикладне матеріалознавство : навчальний посібник. / Т. Ф. Архіпова, А. Ю. Осадчук. – Вінниця : ВНТУ, 2013. – 60 с.

Допоміжна

5. Нові матеріали та сучасні методи дослідження. Рентгеноструктурні дослідження з використанням програмного забезпечення PDXL дифрактометра ULTIMA IV (Rigaku) [текст]: Методичні вказівки та інструкції до виконання лабораторних робіт для студентів інженерно-фізичного факультету / Укладачі: М.В. Карпець, Я.В. Зауличний, О.І. Дудка, О.С. Макаренко. – К. НТУУ «КПІ», 2013. – 36 с.
6. Сучасні експериментальні методи аналізу низькорозмірних структур: лабораторний практикум [текст] : навч. посіб. для студ. Спеціальності 132 «Матеріалознавство», освітньої програми «Інжиніринг та комп'ютерне моделювання в матеріалознавстві» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: М.В. Карпець, С.І. Сидоренко, А.П. Бурмак. – 2021. – 113 с.

Корисні посилання

1. Рентгеноструктурний аналіз — вікіпедія. <https://uk.wikipedia.org/wiki>

Навчальний контент

5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Лекційні заняття

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, посилання на літературу та завдання на СРС)
1	Розділ 1. Будова і робота дифрактометра. Тема 1.1 Джерела рентгенівського випромінювання. Лекція 1. Лічильники квантів. Іонізаційні камери, пропорційні, стінциляційні та напівпровідникові лічильники, їх ефективність, мертвий час та амплітудна роздільність. Завдання на СРС: Іонізаційні камери. Література: [1], [2].
2	Тема 1.2 Нові джерела випромінювання. Вимірювальні пристрої. Лекція 2. Синхротронне випромінювання. Блок схема вимірювального пристрою для стінциляційного та пропорційного лічильника. Пристрої реєстрації. Завдання на СРС: Пристрої реєстрації. Література: [1], [2].
3	Тема 1.3 Гоніометричний пристрій дифрактометру.

	<p>Лекція 3. Призначення гоніометричного пристрою у дифрактометрі. Типи гоніометрів. Робота гоніометра. Настроювання гоніометра. Завдання на СРС: Типи гоніометрів. Література: [1], [2].</p>
4	<p>Тема 1.4 Високотемпературні приставки до гоніометрів. Лекція 4. Принципи будови високотемпературних приставок до гоніометрів. Типи приставок. Основні вузли. Тип нагрівання. Завдання на СРС: Типи приставок. Література: [1], [2], [3].</p>
5	<p>Тема 1.5 Низькотемпературні приставки до гоніометрів. Лекція 5. Призначення низькотемпературних приставок до гоніометрів. Типи приставок. Основні вузли. Тип охолодження. Завдання на СРС: Тип охолодження. Література: [1], [2], [3].</p>
6	<p>Тема 1.6 Пристрій для дослідження радіоактивних зразків. Лекція 6. Конструкція пристроїв для дослідження радіоактивних зразків. Вимоги до безпечного функціонування пристроїв для дослідження радіоактивних зразків. Завдання на СРС: Конструкція пристроїв для дослідження радіоактивних зразків. Література: [1], [2], [3].</p>
7	<p>Тема 1.7 Юстирування та регулювання дифрактометра. Лекція 7. Встановлення та регулювання гоніометра на дифрактометрі. Визначення нульового положення щілини лічильника. Завдання на СРС: Визначення нульового положення щілини. Література: [1], [2], [3].</p>
8	<p>Лекція 8. Встановлення та регулювання лічильника. Регулювання вимірювальної схеми. Завдання на СРС: регулювання лічильника. Література: [1], [2], [3].</p>
9	<p>Розділ 2 Нові типи дифрактометрів і особливості їх конструкції і функціонування Тема 2.1 Дифрактометри загального призначення. Лекція 9. Вимоги до дифрактометрів загального призначення. Основні дифрактометри загального призначення. Функціональні можливості. Робота на дифрактометрі. Завдання на СРС: Основні дифрактометри загального призначення. Література: [1], [2], [3].</p>
10	<p>Тема 2.2 Спеціалізовані дифрактометри. Лекція 10. Дифрактометри для дослідження монокристалів. Дифрактометри для дослідження великогабаритних деталей. Дифрактометри для дослідження текстури. Завдання на СРС: Дифрактометри для дослідження монокристалів. Література: [1], [2], [3].</p>
11	<p>Тема 2.3 Особливості конструкції і роботи дифрактометра «Ultima 4» фірми «Rigaku». Лекція 11. Особливості будови і роботи дифрактометра «Ultima 4» Можливість комп'ютерної обробки експериментальних даних. Використання електронної бази даних. Завдання на СРС: Використання електронної бази даних. Література: [2], [4], [5].</p>
12	<p>Лекція 12. Приклади результатів дослідження зразків після високоенергетичної обробки, отримані на дифрактометрі «Ultima 4» Завдання на СРС: дослідження зразків після високоенергетичної обробки. Література: [2], [4], [5].</p>
13	<p>Розділ 3 Проведення досліджень на дифрактометрі Тема 3.1. Дослідження фазового складу на дифрактометрі. Лекція 13. Особливості дослідження багатофазних зразків. Проведення кількісного фазового аналізу. Врахування похибок. Завдання на СРС: Проведення кількісного фазового аналізу. Література: [2], [4], [5].</p>
14	<p>Тема 3.2 Прецизійне визначення періодів кристалічної ґратки на дифрактометрі</p>

	Лекція 14. Використання методу Речингера для розділення дублету. Використання методу екстраполяції. Врахування похибок. Використання монохроматорів різного типу. Завдання на СРС: Використання методу екстраполяції. Література: [1], [4].
15	Тема 3.3 Визначення мікронапружень та ОКР на дифрактометрі. Лекція 15. Застосування методу апроксимації для визначення мікронапружень та ОКР на дифрактометрі. Підготовка зразків, виготовлення еталону. Завдання на СРС: Література: [1], [4].
16	Тема 3.4 Дослідження зональних напружень. Лекція 16. Дослідження зразків у лінійнонапруженому та плосконапруженому станах. Послідовність проведення експериментів, розрахунки. Завдання на СРС: Підготовка зразків. Література: [1], [4].
17	Тема 3.5 Дослідження монокристалів на дифрактометрі. Лекція 17. Особливості проведення дослідження монокристалів на дифрактометрі. Завдання на СРС: дослідження монокристалів. Література: [1], [4].
18	МКР

Лабораторні заняття

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

1	Лабораторна робота 1. Вступне заняття. Техніка безпеки під час роботи з іонізуючим випромінюванням. Дозиметрія та захист від рентгенівського випромінювання. Література: Література: [2], [4], [5]. Завдання на СРС. Підготувати протокол. Опанувати теоретичні відомості. Виконати необхідні розрахунки. Сформулювати висновки.	2
2	Лабораторна робота 2. Будова і робота рентгенівських дифрактометрів. Література: [2], [4], [5]. Завдання на СРС. Підготувати протокол. Опанувати теоретичні відомості. Виконати необхідні розрахунки. Сформулювати висновки.	2
3	Лабораторна робота 3. Будова і робота дифрактометра «Ultimja IV» 1 частина. Ознайомлення з конструкцією та режимами роботи дифрактометра «Ultimja IV» Література: [2], [4], [5]. Завдання на СРС. Підготувати протокол. Опанувати теоретичні відомості. Виконати необхідні розрахунки. Сформулювати висновки.	2
4	Лабораторна робота 4. Будова і робота дифрактометра «Ultimja IV» 2 частина. Ознайомлення з конструкцією та режимами роботи дифрактометра «Ultimja IV», розрахунок дифрактограми, аналіз даних. Література: [2], [4], [5]. Завдання на СРС. Підготувати протокол. Опанувати теоретичні відомості. Виконати необхідні розрахунки. Сформулювати висновки.	2
5	Лабораторна робота 5. Визначення величини мікрвикривлень та областей когерентного розсіювання методом апроксимації. 1 частина. Література: [2], [4], [5]. Завдання на СРС. Підготувати протокол. Опанувати теоретичні відомості. Виконати необхідні розрахунки. Сформулювати висновки.	2
6	Лабораторна робота 6. Визначення величини мікрвикривлень та областей когерентного розсіювання методом апроксимації. 2 частина. Література: [2], [4], [5]. Завдання на СРС. Підготувати протокол. Опанувати теоретичні відомості. Виконати необхідні розрахунки. Сформулювати висновки.	2

7	Лабораторна робота 7. Рентгенографічне дослідження зональних напружень в поверхневих зонах сплавів заліза після високоенергетичних імпульсних методів хіміко-термічної обробки. Якісний фазовий аналіз на дифрактометрі багатофазних зразків після ХТО. Література: [2], [4], [5]. Завдання на СРС. Підготувати протокол. Опанувати теоретичні відомості. Виконати необхідні розрахунки. Сформулювати висновки.	2
8	Лабораторна робота 9. Роздільне визначення головних напружень у зразку в плосконапруженому стані. Література: [2], [4], [5]. Завдання на СРС. Підготувати протокол. Опанувати теоретичні відомості. Виконати необхідні розрахунки. Сформулювати висновки.	2
9	Залікове заняття	2

6. Самостійна робота студента

Вид самостійної роботи студента	Кількість робіт	Норма часу на роботу, год.	Термін часу, год.
Засвоєння додаткових питань до лекцій	17	1	17
Підготовка до лабораторних робіт та опрацювання результатів	8	4	36
Підготовка до МКР	1	7	7
Підготовка до заліку	1	6	6
		Всього	66

Політика та контроль

7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

1. Пропущене лекційне заняття необхідно продивитись за допомогою запису ZOOM, законспектувати основні положення.

2. У разі пропуску лабораторних занять необхідно попередити викладача і дізнатись про шляхи відпрацювання. Допускається використання власних ноутбуків. У разі дистанційного навчання, студент повинен забезпечити себе персональним комп'ютером з доступом до інтернету.

3. У разі спізнення на пару, студенту необхідно, не заважаючи іншим, зайти в клас, зайняти своє місце. Користуватись мобільним телефоном можна тільки з дозволу викладача. Звук мобільного телефона повинен бути вимкнений. У разі важливих вхідних дзвінків необхідно спитати дозволу викладача, вийти в коридор і провести розмову там.

4. Користуватись мобільними телефонами під час складання екзамену не дозволяється.

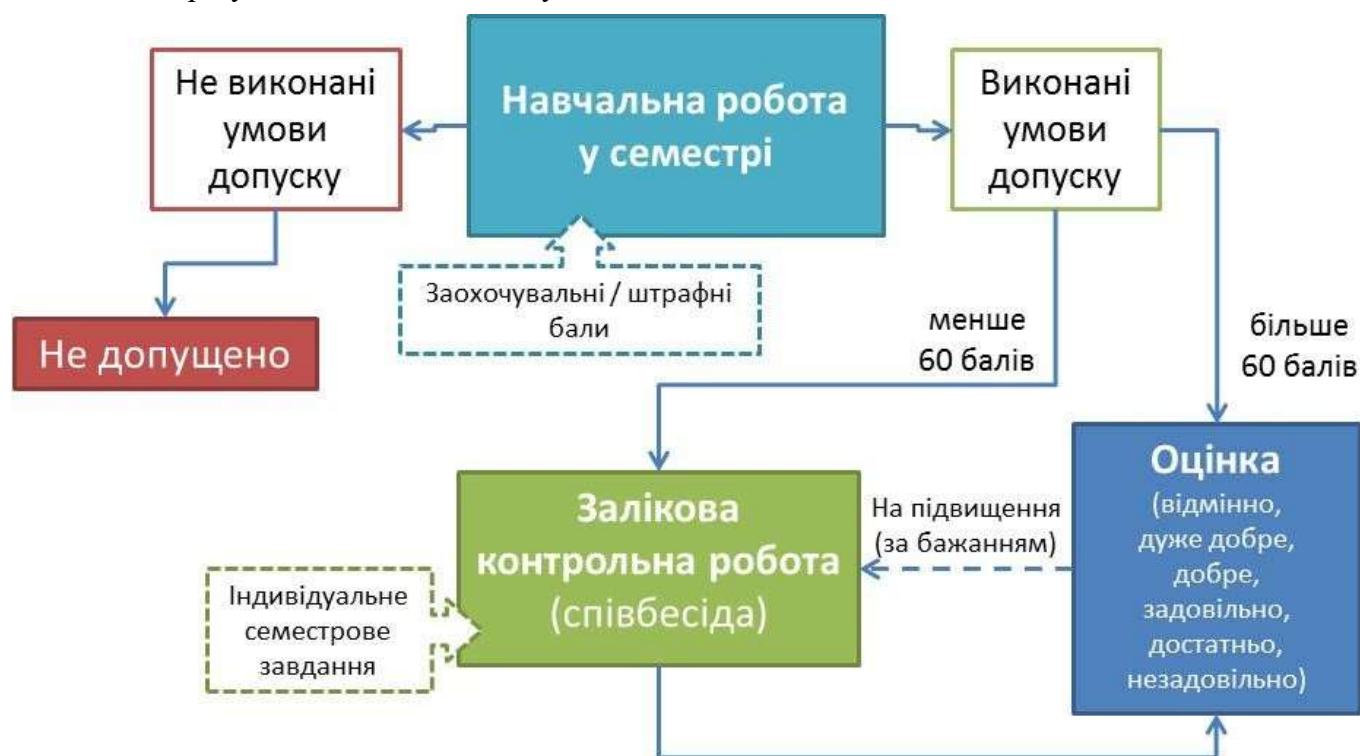
5. До екзамену допускаються студенти, які виконали усі лабораторні завдання та здали модульну контрольну роботу.

У разі великої кількості пропусків, невчасного виконання навчального плану з практичних робіт та написання контрольних робіт, студента може бути не допущено до екзамену.

Політика та принципи академічної доброчесності визначені у розділі 3 Кодексу честі Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». Детальніше за посиланням: <https://kpi.ua/code>

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

Оцінювання результатів навчання відбувається за схемою:



Контрольні заходи:

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

Таблиця видів контролю та максимальної кількості балів за них.

Вид контролю	Кількість	Максимальна кількість балів на 1	Максимальна кількість балів
Виконання лабораторних завдань	8	8	64
МКР	1	36	36
Всього			100

Оцінювання виконання лабораторних завдань:

Критерії	Бали
до виконаного завдання немає зауважень, дані правильні відповіді під час перевірки	7-8
є не принципові зауваження до виконаного завдання та/або дані відповіді з помилками під час перевірки	5-6
є принципові зауваження до виконаного завдання та/або не дані відповіді (дані неправильні) під час перевірки	робота не здана

МКР складається з 6 питань. За кожен правильну відповідь студент отримує 6 балів. Якщо сумарна кількість правильних відповідей менше 16, то ця частина МКР вважається не зданою, при цьому бали не нараховуються. Максимально можлива оцінка за МКР складає 36 балів

Умовою допуску до заліку є виконання всіх лабораторних робіт, здана МКР. Семестровий рейтинг можна підвищити за рахунок заохочувальних балів (максимум на 10) шляхом виконання додаткових індивідуальних завдань (видає викладач).

Здобувачі, які виконали всі умови допуску до заліку та мають рейтингову оцінку 60 і більше балів, отримують відповідну до набраного рейтингу оцінку без додаткових випробувань.

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 або співбесіди.

Після виконання залікової контрольної роботи, 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 з урахуванням результатів залікової контрольної роботи.

Залікова контрольна робота проводиться у вигляді тестування. Слухачу надається 20 тестових завдань. За кожну правильну відповідь студент отримує 5 бали. Якщо сумарна кількість балів менше 60, то залік вважається не зданим (незадовільно). Для перескладання заліку є дві додаткові спроби.

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)

У освітньому компоненті “Рентгенівська дифрактометрія” денної форми навчання передбачено модульну контрольну роботу

Бали за рейтинговою системою проставляються у Кампусі в розділі Поточний контроль, результати атестації в розділі Атестація. Екзаменаційна відомість створюється і заповнюється в Кампусі, доступ до неї існує упродовж дня екзамену (виправлення і пересдача наступного дня не допускаються).

Для заочної форми навчання протягом лекційних занять передбачається більш детальний опис теоретичного матеріалу, який студенти повинні засвоїти самостійно.

Засоби змішаного навчання. При вивченні даної дисципліни студенти повинні самостійно пройти комп’ютерне тестування для перевірки своїх знань при підготовці до модульної контрольної роботи.

Спілкування з викладачем через Telegram та Viber.

Перелік запитань до контрольних робіт та семестрового контролю наведено в Додатках.

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено: доцентом кафедри фізики металів, к.т.н., Іващенко Євгеном Вадимовичем, доцентом кафедри фізики металів, к.т.н., Лобачовою Галиною Геннадіївною.

Ухвалено:

кафедрою Фізичного матеріалознавства та термічної обробки НН ІМЗ ім. Є.О. Патона (протокол № 11/25 від 12 лютого 2025 р.)

кафедрою Високотемпературних матеріалів та порошкової металургії НН ІМЗ ім. Є.О. Патона (протокол № 9 від 14 лютого 2025 р.)

Погоджено:

Методичною комісією НН ІМЗ ім. Є.О. Патона (протокол № 6/25 від 19 лютого 2025 р.)

Перелік питань до МКР та семестрового контролю з дисципліни «Рентгенівська дифрактометрія»

1. Правила техніки безпеки при роботі на дифрактометрі
2. Будова іонізаційних лічильників рентгенівського випромінювання.
3. Будова пропорційних лічильників, їх ефективність, мертвий час та амплітудна роздільність.
4. Будова сцинтиляційних лічильників, їх ефективність, мертвий час та амплітудна роздільність.
5. Будова напівпровідникових лічильників, їх ефективність, мертвий час та амплітудна роздільність.
6. Призначення та будова гоніометричного пристрою у дифрактометрі.
7. Типи гоніометрів. Робота гоніометра. Настроювання гоніометра.
8. Будова високотемпературних приставок до гоніометрів.
9. Будова низькотемпературних приставок до гоніометрів
10. Конструкція дифрактометрів для дослідження радіоактивних зразків
11. Юстирування та регулювання дифрактометра.
12. Будова дифрактометрів для дослідження монокристалів.
13. Особливості будови і роботи дифрактометра «Ultima 4».
14. Будова та принципи роботи сучасних джерел рентгенівського випромінювання.
15. Принципи дії та параметри мікрофокусних рентгенівських трубок.
16. Природа та створення синхротронного випромінювання.
17. Переваги синхротронного випромінювання у порівнянні з рентгенівськими трубками.
18. Особливості будови дифрактометрів для дослідження текстури.
19. Застосування методу апроксимації для визначення мікронапружень та ОКР на дифрактометрі.
20. Особливості дослідження багатофазних зразків. Проведення кількісного фазового аналізу.