



## МЕТОДИ НАНОДІАГНОСТИКИ

### 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>Вибіркова</i>
Форма навчання	<i>Екстернат очна (прискорена)</i>
Рік підготовки, семестр	<i>3 курс, весняний семестр</i>
Обсяг дисципліни	<i>4 кредити ECTS/120 год, 120 год самостійної роботи студентів</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>Залік / домашня контрольна робота</i>
Розклад занять	
Мова викладання	<i>Українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	<i>Лектор: д.т.н., с.н.с., Барабаш Максим Юрійович, e-mail: mbarabash@nasu.kiev.ua Лабораторні роботи: д.т.н., с.н.с., Барабаш Максим Юрійович</i>
Розміщення курсу	<i>campus.kpi.ua</i>

#### Програма навчальної дисципліни

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

*Вивчаючи дисципліну, студенти узагальнюють власні знання з різних дисциплін та долучаються до світового досвіду використання матеріалів з урахуванням технічних, технологічних, економічних та екологічних факторів. Студенти одержують важливий досвід щодо складу та структури композиційних матеріалів та поверхневих шарів різної природи.*

*Мета навчальної дисципліни полягає у формуванні у здобувача вищої освіти здатності застосовувати основних сучасних дифракційних та спектральних методів аналізу матеріалів, таких як спектральний, рентгеноструктурний, локальний рентгеноспектральний методи, емісійний та Оже - спектральний аналізи, атомна абсорбційна спектроскопія для визначення властивостей матеріалів, досліджені їх фазової будови, складу, закономірностей змін структури і властивостей у процесах їх одержання.*

*Предметом дисципліни є основні принципи та апаратурне забезпечення сучасних спектроскопічних методів нанодіагностики. Основними завданнями навчальної дисципліни є розуміння взаємозв'язку між фізичними та хімічними властивостями та сучасними методами для їх аналізу; ознайомити з обладнанням для проведення дифракційних та спектральних методів аналізу; розширити світогляд здобувача вищої освіти та виробити навички для самостійної роботи з сучасними методами нанодіагностики матеріалів різної природи.*

*Після засвоєння навчальної дисципліни студент повинен знати:*

- основні принципи класифікації дифракційних та спектральних методів,*
- основні етапи проведення дифракційних та спектральних методів аналізу;*

- основні типи дифракційних та спектральних методів та їх застосування;
- загальні принципи роботи приладів для дифракційних та спектральних методів аналізу матеріалів;
- основні поняття з суміжних дисциплін (фізика, аналітична хімія, фізико-хімічні методи аналізу та ін.)
- основні поняття про взаємодію атомів, молекул, кристалів з електромагнітним випромінюванням;
- як оцінювати хімічний склад матеріалів за допомогою спектрального аналізу;
- як оцінювати фізико-хімічні властивості матеріалів із застосуванням рентгенівських та емісійних спектральних методів досліджень;
- як оцінювати морфологічні властивості матеріалів за результатами мікрофотографій;
- як визначати придатність матеріалу за результатами Оже-спектрального та атомно-абсорбційного методів аналізу;
- як описувати спектри комбінаційного розсіювання, їх інтерпретувати.

## **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 бакалаврів екстерном, лекційний матеріал (сформований у програмному пакеті "PowerPoint") та лабораторні роботи підготовлені у гугл формах буде надіслано студентам на поштову скриньку, або до "Телерам" групи.

Дисципліни, знання з яких необхідні для вивчення дисципліни «Методи нанодіагностики»

- Фізика,
- Хімія,
- Фізична хімія,
- Кристалографія, кристалохімія та мінералогія.

Знання, що студент отримує під час вивчення дисципліни «Методи нанодіагностики» поглиблюють здатності, які формують такі дисципліни як:

Фізика конденсованого стану,  
Структурний аналіз матеріалів,  
Основи металознавства,  
Матеріалознавство тугоплавких матеріалів.

Дисципліна забезпечує розширення інженерного кругозору в галузі матеріалознавства та діагностики матеріалів чим формує набір компетентностей для подальшого вивчення дисциплін матеріалознавчого напрямку. Результати вивчення дисципліни можуть бути використані під час виконання курсових, дипломних робіт та проєктів.

## **3. Зміст навчальної дисципліни**

Вступ. Організація очного/дистанційного навчання/екстерном.

Розділ.1. Елементи квантової фізики атомів, молекул та твердих тіл.

Розділ 2. Основи мікроскопії. Поверхня нанорозмірних матеріалів.

Розділ 3. Електронна мікроскопія об'єктів нанометрового діапазону.

Розділ 4. Рентгенівський мікроаналіз.

Розділ 5. Зондова мікроскопія.

Розділ 6. Оптична та коливальна спектроскопія ІЧ та КР.

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

### **Базова література:**

1. 1. Загородній В. В. Локальні методи досліджень [Електронний ресурс] : підручник для студентів спеціальності 105 «Прикладна фізика та наноматеріали» / В. В. Загородній ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 6,41 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 323 с. – Режим доступу: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/28054>.

2. Тузяк О. Я. Основи електронної та зондової мікроскопії: навч. посібник / О. Я. Тузяк, В. Ю. Курляк. – Львів : ЛНУ імені Івана Франка, 2012. – 296 с.

3. Кристалографія, кристалохімія та мінералогія [Електронний ресурс]: підручник для студ. спеціальності 132 Матеріалознавство / Л. О. Бірюкович; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 2.832 Кбайт). – К. : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 234 с. – Режим доступу:<https://ela.kpi.ua/handle/123456789/25313>.

4. Горячко А. М. Основи скануючої зондової мікроскопії та спектроскопії : навчальний посібник : 2 ч. / А. М. Горячко, С. П. Кулик, О. В. Прокопенко ; за ред. С. П. Кулика та О. В. Прокопенка. – Київ : Радіофізичний факультет Київського національного університету імені Тараса Шевченка, 2012. – Частина 2. – 170 с.

5. Кармазін В. В. Курс загальної фізики : навчальний посібник для вищих навчальних закладів / Кармазін В. В., Семенець В. В. – Київ : Кондор, 2016. – 786 с.

#### **Додаткова література:**

6. 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.

7. Казіміров В.П. Рентгенографія кристалічних матеріалів: навчальний посібник / В. П. Казіміров, Е. Б. Русанов. – Київ : ВПЦ «Київський університет», 2016. – 287 с.

8. Барабаш М. Ю. Формування наноструктур на темплатах випромінюванням із видимого діапазону / М. Ю. Барабаш, Д. О. Гринько, С. О. Сперкач. – Київ : Інститут металофізики ім. Г. В. Курдюмова НАН України, 2015. – 202 с.

#### **Інформаційні ресурси:**

9. <https://er.chdtu.edu.ua/bitstream/ChSTU/2942/1/%D0%9A%D0%BE%D0%BD%D1%82%D1%80%D0%B%D0%BB%D1%8C%20%D1%81%D1%82%D1%80%D1%83%D0%BA%D1%82%D1%83%D1%80%D0%B8.pdf>

10. [https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/28054/1/Lokalni\\_metody\\_doslidzhen.pdf](https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/28054/1/Lokalni_metody_doslidzhen.pdf)

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

## **8. Навчальний контент**

### **5. Екстернат. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)**

#### **5.1. Теми лекцій для самостійного вивчення**

Лекція 1. Елементи квантової механіки. Атом. Закономірності в спектрах випромінювання атома. Планетарна модель атома. Постулати Бора. Атом водню за теорію Бора. Квантово-механічний опис мікросистем. Стан електрона в атомі. Розподіл електронів у атомах. Спектри атомів і молекул. [5] с. 313-329. [3] с. 13-17.

Лекція 2. Електрон. Взаємодія електронного пучка з речовиною. Властивості електронів. Генерування електронних пучків. Відхилення електронів та розсіювання атомами. Пружне розсіювання. Непружне розсіювання. Збудження одного валентного електрона. Збудження основних орбіталей. Вторинні ефекти. Вторинні електрони. Зворотно розсіяні (пружно-відбиті) електрони. [2] с. 32-53. [4] с. 12-23.

Лекція 3. Поняття про нанорозмірні об'єкти. Поверхня нанорозмірних матеріалів. Поверхня і приповерхневий простір. Фізичні процеси та явища на поверхні. Методи дослідження поверхні. Наноструктури та їх розміри. [1] с. 12-23. [8] с. 10-53.

Лекція 4. Відкриття спектроскопії. Основні поняття та визначення. Характеристика спектру та спектральні методи аналізу. Основний принцип дії приладів для спектрального аналізу. Атомний та молекулярний спектральний аналіз в ідентифікації речовин. Основні області застосування спектрального аналізу. Поділ спектральних методів за діапазоном електромагнітного випромінювання. [1] с. 27-50. [2] с. 160-208.

Лекція 5. Просвічувальна електронна мікроскопія. Завдання (ПЕМ) Будова приладу. Електронна гармата. Конденсорна камера. Принцип дії. Взаємодія електронного пучка з періодично розташованими атомами. Підготовка зразків нанооб'єктів. [1] с. 143-171, [2] с. 88-112.

Лекція 6. Растрова електронна мікроскопія. Сканувальний електронний мікроскоп (СЕМ). Принцип роботи та структурні елементи. Електронна гармата. Термоелектронна та автоемісія Отримання сигналу в СЕМ. Взаємодія електронів з речовиною. Реєстрація вторинних електронів. Реєстрація зворотно розсіяних електронів. Композиційний та топографічний контраст. Просторова роздільна здатність. Виготовлення зразків для СЕМ. Об'єкти дослідження. Можливості методу. [1] с. 97-122.

Лекція 7. Оже-електронна спектроскопія. Основні поняття. Реалізація методу. Переваги та недоліки методу Оже-спектроскопії. Оже-спектри. Двоелектронні процеси зняття збудження: переходи Оже і переходи Костера–Кроніга. Кінетична енергія оже-електронів. Методика підготовки зразків. Отримання енергетичного спектра. Кількісний та фазовий аналіз. [1] с. 54-73, [4] с. 119-57.

Лекція 8. Рентгенівська фотоелектронна спектроскопія (РФЕС). Використання методу. Фізичні основи методу. Спектри РФЕС. Схема утворення фотоелектрона, Оже-електрона та характеристичного рентгенівського випромінювання. Зв'язок між енергетичним станом електронів в твердому тілі і енергетичним розподілом електронів фотоемісії. Зв'язок енергетичних станів електронів у твердому тілі з енергетичним розподілом фотоелектронів. Спектроскопічні позначення в РФЕС. Принципова схема фотоелектронного спектрометра. Джерела характеристичного рентгенівського випромінювання. Основні методи енергетичного аналізу фотоелектронів. Інформація отримана за спектрами РФЕС. РФЕС застосування. Переваги методу РФЕС. [1] с. 27-50.

Лекція 9. Вторинна іонна мас- спектроскопія (ВІМС). Основи методу. Завдання, які вирішує ВІМС. Блок-схема мас-спектрометра. Рух зарядженої частинки у магнітному полі. Способи іонізації атомів і молекул. Схема електронного удару. Переваги та недоліки методу електронної іонізації. Типи іонізацій. Основні типи мас-аналізаторів. Область застосування методу ВІМС. [1] с. 77-86.

Лекція 10. Рентгеноспектральний мікроаналіз (РСМА). Основне завдання РСМА. Основні поняття. Рентгенівське випромінювання. Неперервний спектр (гальмівне випромінювання) та характеристичний спектр. Рентгенівське випромінювання. Характеристичний спектр. Схема генерації різних видів випромінювань під впливом електронного потоку. Пристрій рентгенівської трубки. Основні закони методу РСМА. Рентгенооптичні схеми вимірювання дифракційних спектрів. Рентгенооптичні схеми дифрактометра. Фазовий та кількісний аналіз. Можливості РСМА. Області застосування рентгеноспектрального мікроаналізатора. [1] с. 125- 139, [2] с. 40-51, [3] с.35-61, [7] с. 4-15, 33-42.

Лекція 11. Зондова мікроскопія. Сканувальна тунельна мікроскопія (СТМ). Історія відкриття. Основні області застосування СТМ. Можливості зондової мікроскопії. Основи методи та поняття про тунельний ефект. Зонна діаграма тунельного контакту. Схема скануючого тунельного мікроскопа. Скануючий зонд, вимоги та призначення. Принцип роботи зондів. Скануючі елементи зондових мікроскопів. Формування СТМ зображень. Недоліки СТМ. [1] с. 216-234. [2] с. 213-259, [4] с. 58-67.

Лекція 12. Зондова мікроскопія. Атомна силова мікроскопія (АСМ). Основи методу АСМ. Контактна атомно-силова мікроскопія. Режими роботи: безконтактна, контактна та напівконтактна атомно-силова мікроскопія. Зонди для атомно-силової мікроскопії. Дослідження властивостей поверхні методами атомно-силової мікроскопії. Приготування зразків для зондової мікроскопії. Сили взаємодії вістря і зразка. Схема зондового датчика АСМ. Фізичні основи АСМ. Типи АСМ кантиливерів. Оптичний силовий сенсор АСМ. Система реєстрації сигналів кантиливера. Основні режими сканування АСМ. Переваги та недоліки методу АСМ. Застосування методів спектроскопічних зондових методів. [1] с. 238-254, [2] с. 213-259, [4] с. 73-79.

Лекція 13. Польова електронна-емісійна мікроскопія (ПЕЕМ). Основні принцип дії ПЕЕМ. Автоелектронна емісія: термоемісія, вторинна електронна емісія та фотоелектронна емісія.



*Схема польового електронно-емісійного мікроскопа ПЕЕМ. Тунельний ефект у ПЕЕМ. Потенційний бар'єр на границі метал-вакуум. Застосування польового емісійного мікроскопа (ПЕМ). Вимоги до голки ПЕМ. Основні напрямки автоіонно-мікроскопічних досліджень (АІМ). Застосування автоелектронної емісії. [1] с. 265-276, [2] с. 271-272.*

*Лекція 14. Енергодисперсійна рентгенівська спектроскопія (ЕДРС). Історія відкриття. Основні принципи. Взаємодія електронів з речовиною в електронному мікроскопі. Закон Мозлі. Схема СЕМ разом з ЕДС приставкою. Блок-схема рентгенівського детектора енергодисперсійного спектрометра і блок-схема електроніки обробки сигналу. Типовий енергодисперсійний спектр. Особливості методу ЕДРС. Переваги методу ЕДРС. [9].*

*Лекція 15. Спектроскопія комбінаційного розсіювання (Раман спектроскопія) (СКР). Історія відкриття. Походження молекулярних спектрів. Коливання багатоатомної молекули. Типи коливань. Комбінаційне розсіювання в кристалах. Резонансна КР спектроскопія. Методика вимірювання спектрів КР. Геометрія експерименту. Типи спектрометрів КР та принцип дії. [10].*

*Лекція 16. Інфрачервона спектроскопія (ІЧ спектроскопія). Особливості експериментального дослідження ІЧ спектрів твердих тіл і розчинів. Принципова схема будови ІЧ - спектрометра. Послідовність проведення структурного аналізу. Кількісна ІЧ-спектроскопія. Принцип роботи ІЧ-спектрометра. Умови вимірювання ІЧ-спектрів. ІЧ-спектрометри з перетворенням Фур'є. Типи завдань і можливості ІЧ-спектроскопії: віднесення смуг, зіставлення спектра і будови речовини, ідентифікація, функціональний аналіз. Області застосування. [8]. с. 45-53.*

*Лекція 17. Голографічна інтерферометрія. Голографічна система реєстрації голограм (ГСР). Принцип роботи ГСР та основні етапи реєстрації оптичних голограм. Комп'ютерний аналіз голографічних інтерферограм. Методи застосування. [8]. с. 55-60.*

*Лекція 18. Залік.*

### **Зміст лабораторних робіт**

*Основні завдання циклу лабораторних робіт є формування у студентів уявлень про методи діагностики матеріалів та покриттів різної природи; отримання комплексу знань про будову та фазовий склад вихідних порошоків та виробів з них і вибір методів нанодіагностики; опанування студентами сучасних методів діагностики складу та структури вихідних порошоків та матеріалів на їх основі. Для форми навчання екстерном сформовано завдання у вигляді гугл форм для 8 лабораторних робіт.*

*Лабораторна робота №1. Поняття про вакуум. Вакуумні системи, методи отримання та вимірювання.*

*Лабораторна робота №2. Будова та принцип дії скануючого електронного мікроскопа РЕМ-10БИ, SELMI. Приготування об'єктів для дослідження у РЕМ.*

*Лабораторна робота №3. Отримання топологічного зображення поверхні зразка в режимі вторинних електронів. Отримання топологічного зображення поверхні зразка в режимі відбитих електронів.*

*Лабораторна робота №5. Принцип дії та застосування просвічуючого мікроскопа.*

*Лабораторна робота №6. Оже-електронний аналіз матеріалів.*

*Лабораторна робота №7. Рентгеноспектральний аналіз.*

*Лабораторна робота №8. Приготування об'єктів для електронно-мікроскопічного дослідження.*

*За підсумками зроблених всіх лабораторних робіт та домашньої контрольної роботи студенти допускаються до здачі заліку.*

### **6. Самостійна робота студента**

*Самостійна робота студентів (загальна тривалість 120 годин) з дисципліни полягає в:*

- опрацювання лекційних тем – 36 год;*
- написання протоколів, виконання завдань та оформлення лабораторних робіт – 64 год;*
- виконання домашньої контрольної роботи – 14 год;*
- підготовці до підсумкової атестації – заліку – 6 год.*

## 7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Усі матеріали для вивчення дисципліни “Методи нанодіагностики” у формі екстернату створені у програмному пакеті “PowerPoint”. Крім того, у сервісі “Telegram” викладач створює групу, назва якої складається із номера групи і назви дисципліни, і до якою староста групи приєднує усіх студентів.

За затвердженням навчальним розкладом за формою навчання екстерном, викладач надсилає у “Telegram” розроблений лекційний матеріал студентам для дистанційного опанування матеріалу лекцій. Згідно розкладу надсилається у “Telegram” матеріал для виконання завдань з лабораторних робіт.

На початку навчального семестру, викладачем надаються консультації студентам щодо методики вивчення лекційних тем і виконання завдань лабораторних робіт.

**Алгоритм виконання студентом завдань з лекційного матеріалу та лабораторних робіт полягає у наступному.** Щотижня студенти опановують матеріал надісланих лекцій у “PowerPoint”. Вони повинні вміти відповісти на лекційні питання, що розглядались у темі в лекції. Через кожні 2 тижні студенти виконують завдання з лабораторних робіт створених у Google Forms, перед цим до групи “Telegram” завантажують протоколи відповідної лабораторної роботи для перевірки викладачем. Перевірка правильності виконання завдання завершеної лабораторної роботи здійснюється викладачем упродовж тижня після виконання її студентом. Захист виконаних 8 лабораторних робіт здійснюється у дистанційному режимі за 7 бальною шкалою (1 бал-«погано», 7 балів – «відмінно»).

Заохочувальні бали можуть бути призначені за особливі успіхи у навчанні – застосування творчого підходу до виконання лабораторних робіт, у тому числі, використання даних для робіт з тематики власних наукових досліджень. Сумарна кількість заохочувальних балів може складати від 1 до 10 балів.

Перескладання заліку проводиться під час додаткової сесії за положенням НТУУ “КПІ ім. Ігоря Сікорського” відповідно до графіку перескладань оприлюдненому на сайті НН ІМЗ ім. Є. О. Патона.

Усі учасники освітнього процесу: викладачі і здобувачі в процесі 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)

### 8.1. Види контролю:

- Поточний контроль: лабораторні роботи, домашня контрольна робота (ДКР).
- Календарний контроль: проводиться двічі на семестр як моніторинг поточного стану виконання вимог силабусу.
- Семестровий контроль: залік

Кожний вид робіт оцінюється за 100-бальною шкалою. Семестрова оцінка формується як середня із суми оцінок за кожний вид робіт, що виконуються упродовж семестру:

$$O_{\text{семестр}} = \frac{\sum_{1-8} + O_{\text{ДКР}}}{9}$$

**Календарний контроль:** проводиться двічі на семестр як моніторинг поточного стану виконання вимог силабусу: щоб отримати позитивний результат у першому календарному контролі, необхідно мати мінімум 20 балів із проведених ЛРН№1-4, максимум 7 балів за кожну ЛР (за захист звітів з лабораторних робіт) проводиться на 8 тижні навчання, у другому календарному контролі необхідно мати мінімум 50 балів за період по всіх кожних проведених ЛРН№5-8, максимум 7 балів за кожну ЛР (за захист звітів з лабораторних робіт) проводиться на 15 тижні навчання.

**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:

- домашня контрольна робота не менше 22 балів.
- лабораторні роботи не менше 38 балів.

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. Якщо ж студент хоче підвищити свій рейтинг, то потрібно мати всі зараховані лабораторні роботи і написати залікову контрольну роботу, або пройти співбесіду. Залікова контрольна робота складається з переліку тематичних питань домашньої контрольної роботи (оформлена у вигляді GoogleForm). Співбесіда є узагальненням результатів роботи студента протягом навчального семестру та спроможністю здобувача відповідати на поставлені питання викладача. Рейтинг за семестр анулюється, залікова контрольна робота складає 100 балів. Залікова контрольна робота складається у вигляді тестів (GoogleForm), у тестах 10 питань по 10 балів кожний.

**8.2.** До кожної лабораторної роботи студент повинен підготувати протокол, який складається із:

- номера лабораторної роботи;
- назви лабораторної роботи;
- мети лабораторної роботи;
- теоретичних відомостей, до яких включають основні визначення та умовні позначення;
- порядок виконання.

За наявності протоколу кожна лабораторна робота оцінюється за кількість самостійно виконаних завдань, позитивна оцінка складає 38–56 балів.

Кількість завдань визначається в залежності від складності теми лабораторної роботи та призначається викладачем як доступ студентів до Google Forms відповідного завдання.

### **Домашня контрольна робота.**

У ДКР студент повинен виконати завдання з певної кількості опанованого лекційного матеріалу. Позитивна оцінка 22–36 балів. Відповідь на кожний пункт аналітичного опису завдання максимально оцінюється, відповідно:

- У наслідок непружного розсіювання електронів на внутрішніх оболонках атомів, які виникають ефекти? – 3 бали;
- Навести принципову схему будови електронного мікроскопа. – 3 бали;
- Які функції має електронна оптична система в електронному мікроскопі? – 3 бали;
- При взаємодії електронів з речовиною, які виникають вторинні ефекти? – 3 бали;
- Які принципи роботи скануючого електронного мікроскопа? – 3 бали;
- Як впливає довжина хвилі електрона на розширення зображення? – 3 бали;
- Розрахувати у відповідності з формулою для обчислення концентрацій елементів на поверхні атомні концентрації всіх елементів, зареєстрованих в оже-спектрах. – 3 бали;
- Визначити енергію кожного піку оже-електронів (енергія визначається за негативним максимумом диференціальної кривої розподілу електронів по енергії). Використовуючи атлас оже-спектрів чистих елементів ідентифікувати елементи на поверхні досліджуваного зразка. – 3 бали;
- Які основні складові атомно-силового мікроскопа, надати детальний опис? – 3 бали;
- Метод Атомно-силової мікроскопії заснований на якому фізичному ефекті взаємодії? – 3 бали;
- Яким чином растровий електронний мікроскоп може використовуватись для аналізу хімічного складу зразків? – 3 бали;
- Що таке метод електронної дифракції в електронному мікроскопі? – 3 бали;

За відсутності зазначених пунктів завдання оцінка зменшується на відповідну кількість балів; за кожну помилку оцінка зменшується на 2 бали.

### **Залік.**

Умовою допуску до заліку є виконання усіх лабораторних робіт на 38–56 балів, написання та домашньої контрольної роботи на 36.

Студенти, середня оцінка яких за завдання, що виконувались упродовж семестру склала 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.

Таблиця 2 відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою:

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

За формою навчання екстерном завдання домашньої контрольної роботи (ДКР) містить дванадцять питань до яких входять теоретичний матеріал та декілька практичних обчислювальних завдань, які виконувались на лабораторних роботах. Приклад завдання для ДКР наведено у вище. Перелік запитань, що виносяться на ДКР наведені у п.9. ДКР проводиться письмово. На підготовку відповідей на запитання завдання ДКР виділяється 1 академічна година часу.

Сумарна максимальна оцінка складає 36 балів, відповідно:

- Максимальна оцінка за правильну відповідь на кожне теоретичне та практичне питання складає 3 бали.

Під час розв'язування задачі студент може користуватися довідниками та атласами. Оцінка формується як сума балів отриманих за відповідь на кожне питання ДКР -36 балів, бали за виконані всі лабораторні роботи -56 балів та 8 балів за умови ведення конспекту лекцій, у сумі формується 100 балів.

## 9. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)

### Питання, які виносяться на семестровий контроль

- Поняття про модель атома Резерфорда-Бора. Електронні рівні.
- Навести розподіл електронів у атомах. Які існують спектри атомів і молекул?
- Взаємодія електронного пучка з речовиною. Властивості електронів.
- Непружне розсіювання і поглинання. Постулати Бора.
- Вторинні ефекти. Поняття про вторинні електрони.
- Зворотно розсіяні (пружно-відбиті) електрони.
- Що таке спектр світла?
- Поняття про нанорозмірні об'єкти.
- Поверхня нанорозмірних матеріалів.
- Поверхня і приповерхневий простір.
- Фізичні процеси та явища на поверхні.
- Методи дослідження поверхні.
- Спектральний аналіз.
- Спектри випромінювання і спектри поглинання.
- Основний принцип дії приладів для спектрального аналізу.
- Атомний та молекулярний спектральний аналіз в ідентифікації речовин.
- Основні області застосування спектрального аналізу.
- Поділ спектральних методів за діапазоном електромагнітного випромінювання.
- Принцип дії просвічувального електронного мікроскопа. Завдання (ПЕМ) Будова приладу.
- Принцип дії електронної гармати.



- *Взаємодія електронного пучка з періодично розташованими атомами. Підготовка зразків нанооб'єктів.*

- *Принцип дії растрової електронної мікроскопії.*

- *Сканувальний електронний мікроскоп (СЕМ). Принцип роботи та структурні елементи. Електронна гармата.*

- *Термоелектронна та автоемісія Отримання сигналу в СЕМ.*

- *Взаємодія електронів з речовиною.*

- *Реєстрація вторинних електронів. Реєстрація зворотно розсіяних електронів.*

- *Композиційний та топографічний контраст.*

- *Просторова роздільна здатність. Виготовлення зразків для СЕМ.*

- *Об'єкти дослідження. Можливості методу.*

- *Що таке Оже-електронна спектроскопія. Основні поняття та реалізація методу. Переваги та недоліки методу Оже-спектроскопії.*

- *Оже-спектри. Двохелектронні процеси зняття збудження: переходи Оже і переходи Костера–Кроніга. Кінетична енергія оже-електронів.*

- *Методика підготовки зразків. Отримання енергетичного спектра. Кількісний та фазовий аналіз.*

- *Рентгенівська фотоелектронна спектроскопія (РФЕС). Використання методу. Фізичні основи методу. Спектри РФЕС.*

- *Схема утворення фотоелектрона, Оже-електрона та характеристичного рентгенівського випромінювання. Зв'язок між енергетичним станом електронів в твердому тілі і енергетичним розподілом електронів фотоемісії.*

- *Зв'язок енергетичних станів електронів у твердому тілі з енергетичним розподілом фотоелектронів. Спектроскопічні позначення в РФЕС.*

- *Принципова схема фотоелектронного спектрометра. Джерела характеристичного рентгенівського випромінювання. Основні методи енергетичного аналізу фотоелектронів. Інформація отримана за спектрами РФЕС. РФЕС застосування. Переваги методу РФЕС.*

- *Вторинна іонна мас-спектроскопія (ВІМС). Основи методу. Завдання, які вирішує ВІМС.*

- *Блок-схема мас-спектрометра. Рух зарядженої частинки у магнітному полі. Способи іонізації атомів і молекул.*

- *Схема електронного удару. Переваги та недоліки методу електронної іонізації. Типи іонізацій.*

- *Основні типи мас-аналізаторів. Область застосування методу ВІМС.*

- *Вторинна іонна мас-спектроскопія (ВІМС). Основи методу. Завдання, які вирішує ВІМС.*

- *Блок-схема мас-спектрометра. Рух зарядженої частинки у магнітному полі. Способи іонізації атомів і молекул.*

- *Схема електронного удару. Переваги та недоліки методу електронної іонізації. Типи іонізацій. Основні типи мас-аналізаторів. Область застосування методу ВІМС.*

- *Поняття про рентгеноспектральний мікроаналіз (РСМА). Основне завдання РСМА.*

- *Рентгенівське випромінювання. Неперервний спектр (гальмівне випромінювання) та характеристичний спектр. Характеристичний спектр. Схема генерації різних видів випромінювань під впливом електронного потоку.*

- *Пристрій рентгенівської трубки. Основні закони методу РСМА. Рентгенооптичні схеми вимірювання дифракційних спектрів.*

- *Рентгенооптичні схеми дифрактометра. Фазовий та кількісний аналіз.*

- *Можливості РСМА. Області застосування рентгеноспектрального мікроаналізатора.*

- *Зондова мікроскопія. Сканувальна тунельна мікроскопія (СТМ). Історія відкриття. Основні області застосування СТМ. Можливості зондової мікроскопії.*

- *Основи методи та поняття про тунельний ефект. Зонна діаграма тунельного контакту. Схема скануючого тунельного мікроскопа.*

- *Скануючий зонд, вимоги та призначення. Принцип роботи зондів. Скануючі елементи зондових мікроскопів. Формування СТМ зображень. Недоліки СТМ.*

- Зондова мікроскопія. Атомна силова мікроскопія (АСМ). Основи методу АСМ. Контактна атомно-силова мікроскопія.
- Режими роботи АСМ: безконтактна, контактна та напівконтактна атомно-силова мікроскопія. Зонди для атомно-силової мікроскопії.
- Приготування зразків для зондової мікроскопії. Сили взаємодії вістря і зразка.
- Схема зондового датчика АСМ. Фізичні основи АСМ. Типи АСМ кантиливерів. Оптичний силовий сенсор АСМ. Система реєстрації сигналів кантиливера.
- Основні режими сканування АСМ. Переваги та недоліки методу АСМ. Застосування методів спектроскопічних зондових методів.
- Польова електронна-емісійна мікроскопія (ПЕЕМ) та основні принцип дії. Автоелектронна емісія: термоемісія, вторинна електронна емісія та фотоелектронна емісія.
- Схема польового електронно-емісійного мікроскопа ПЕЕМ. Тунельний ефект у ПЕЕМ. Потенціальний бар'єр на границі метал-вакуум.
- Застосування польового емісійного мікроскопа (ПЕМ). Вимоги до голки ПЕМ.
- Основні напрямки автоіонно-мікроскопічних досліджень (АІМ). Застосування автоелектронної емісії.
- Енергодисперсійна рентгенівська спектроскопія (ЕДРС). Історія відкриття.
- Основні принципи. Взаємодія електронів з речовиною в електронному мікроскопі. Закон Мозлі. Схема СЕМ разом з ЕДС приставкою.
- Блок-схема рентгенівського детектора енергодисперсійного спектрометра і блок-схема електроніки обробки сигналу.
- Навести типовий енергодисперсійний спектр. Особливості методу ЕДРС. Переваги методу ЕДРС.
- Спектроскопія комбінаційного розсіювання (Раман спектроскопія) (СКР). Історія відкриття.
- Описати походження молекулярних спектрів. Коливання багатоатомної молекули. Типи коливань.
- Комбінаційне розсіювання в кристалах. Резонансна КР спектроскопія.
- Методика вимірювання спектрів КР. Геометрія експерименту. Типи спектрометрів КР та принцип дії.
- Інфрачервона спектроскопія (ІЧ спектроскопія). Особливості експериментального дослідження ІЧ спектрів твердих тіл і розчинів.
- Навести принципова схема будови ІЧ - спектрометра. Послідовність проведення структурного аналізу.
- Кількісна ІЧ-спектроскопія. Принцип роботи ІЧ-спектрометра. Умови вимірювання ІЧ-спектрів.
- ІЧ-спектрометри з перетворенням Фур'є. Типи завдань і можливості ІЧ-спектроскопії: віднесення смуг, зіставлення спектра і будови речовини, ідентифікація, функціональний аналіз. Області застосування.
- Поняття про голографічну інтерферометрію. Голографічна система реєстрації голограм (ГСР). Принцип роботи ГСР та основні етапи реєстрації оптичних голограм. Комп'ютерний аналіз голографічних інтерферограм. Методи застосування.

### **Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):**

Складено доцент каф. Високотемпературних матеріалів та порошкової металургії, д.т.н., с.н.с., Барабаш Максим Юрійович

Ухвалено кафедрою ВТМ та ПМ (протокол № 16 від 21 червня 2023 р)

Погоджено Методичною комісією НН ІМЗ ім. Є. О. Патона

(протокол № 12/23 від 28 червня 2023 р.)