



Національна академія наук України
Інститут проблем матеріалознавства
ім. І.М. Францевича



Силабус (робоча програма) навчальної дисципліни

МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ МАТЕРІАЛІВ MATERIALS RESEARCH METHODS

Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	<i>третій (освітньо-науковий)</i>
Галузь знань	10 «Природничі науки»
Спеціальність	<i>105 «Прикладна фізика та наноматеріали»</i>
Освітня програма	<i>Прикладна фізика та наноматеріали</i>
Статус дисципліни	<i>обов'язкова</i>
Форма навчання	<i>денна (очна), он-лайн/офф-лайн</i>
Рік підготовки, семестр	<i>1 рік, 2 семестр</i>
Обсяг дисципліни	<i>4 кредити ECTS, 120 годин</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>кваліфікаційний екзамен</i>
Розклад занять	<i>лекція – раз на тиждень (40 годин); практика/семінар/консультації – 1 раз на два тижні (16 годин); самостійна робота (64 год.), у тому числі на виконання індивідуальних/домашніх завдань 10 год, кваліфікаційний екзамен – 2 години</i>
Мова викладання	<i>українська</i>
Інформація про викладачів	<i>д.х.н., проф., зав. від. Бондар Анатолій Адольович aa_bondar@ukr.net д.ф.-м.н., проф., пров. н.с. Карпець Мирослав Васильович mkarpets@ukr.net канд.фіз.-мат.наук., пров.н.с. Рогуль Тамара Григорівна, rogul.tamara@gmail.com к.ф.-м.н., стар. наук. співр. Вербіло Дмитро Григорович dmytro_2004@ukr.net</i>
Розміщення курсу	<i>Google Classroom; доступ за запрошенням викладача</i>

Програма навчальної дисципліни

1. Опис освітньої компоненти, її мета, предмет вивчення та результати навчання

Навчальна дисципліна присвячена вивченню теоретичних засад, що лежать в основі експериментальних методів досліджень сучасного матеріалознавства.

Курс розроблено таким чином, щоб забезпечити підготовку висококваліфікованих фахівців у галузі природничих наук, здатних розв'язувати комплексні проблеми механічної інженерії, проводити оригінальні самостійні наукові дослідження та здійснювати науково-педагогічну діяльність.

Предмет освітньої компоненти - основи методів рентгенівського фазового аналізу, Мессбауерівської спектроскопії, електронної мікроскопії, термічного аналізу, необхідних для становлення науковця, який працює в галузі створення новітніх високотехнологічних матеріалів.

Метою освітньої компоненти є формування у здобувачів вищої освіти (з.в.о.) рівня PhD компетентностей:

Інтегральна компетентність:

Здатність продукувати нові ідеї, розв'язувати комплексні проблеми професійної та/або дослідницько-інноваційної діяльності у сфері прикладної фізики та наноматеріалів, застосовувати методологію наукової та педагогічної діяльності, проводити власне наукове дослідження, результати якого мають наукову новизну, теоретичне та практичне значення.

Загальні компетентності:

ЗК01. Здатність до освоєння і системного аналізу через наукове сприйняття і критичне осмислення нових знань.

ЗК03. Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел.

ЗК04. Здатність до оприлюднення наукових результатів перед академічною аудиторією та громадськістю як на національному, так і на міжнародному рівні. ЗК5. Здатність до самовдосконалення, адаптації та дії в нових ситуаціях, креативність.

ЗК07. Здатність дотримуватися етичних норм та авторського права при проведенні наукових досліджень, діяти на основі принципів академічної доброчесності, а також ставитися із повагою до національних та культурних традицій, способів роботи і мислення інших.

Фахові компетентності:

ФК01. Здатність самостійно здійснювати наукову діяльність у галузі прикладної фізики з використанням новітніх наукових теорій, методів та інноваційних технологій.

ФК03. Здатність розв'язувати комплексні проблеми в галузі прикладної фізики та наноматеріалів з урахуванням міжгалузевих зв'язків для забезпечення потреб у високоефективних матеріалах, енерго- та ресурсозберігаючих технологіях.

ФК04. Здатність переосмислити наявне та створити нове цілісне знання та/або професійну практику та реалізувати проєкти, включаючи власні дослідження, в сфері прикладної фізики та наноматеріалів та споріднених галузях.

ФК07. Соціальна відповідальність за результати прийняття стратегічних технічних рішень і впровадження нових технологій і матеріалів з огляду на їх вплив на навколишнє середовище.

ФК08. Здатність до постійного самовдосконалення у професійній сфері, відповідальність за навчання інших при проведенні науково-педагогічної діяльності та наукових досліджень в галузі прикладної фізики та наноматеріалів.

ФК09. Здатність до генерації нових ідей, самостійного планування та здійснення наукової діяльності, адаптації та впровадження інноваційних технологій з урахуванням експлуатаційних вимог.

Програмні результати навчання. Після засвоєння освітньої компоненти аспіранти мають продемонструвати такі результати навчання:

РН02. Володіти концептуальними та методологічними знаннями в галузі прикладної фізики та наноматеріалів бути здатним застосовувати їх до професійної діяльності на межі предметних галузей.

РН03. Інтегрувати існуючі методики та методи досліджень та адаптувати їх для розв'язання наукових завдань при проведенні дисертаційних досліджень.

РН04. Вміти визначити об'єкт і суб'єкт, предмет досліджень, використовуючи гносеологічні підходи до розв'язання наукових та технічних проблем.

РН05. Описати закономірності та принципи виготовлення і застосування сучасних багатофункціональних матеріалів (особливо наноматеріалів) у виробничому комплексі.

РН08. Спланувати та реалізувати на практиці оригінальне самостійне наукове дослідження, яке має суттєву новизну, теоретичну і практичну цінність та сприяє розв'язанню соціальних, наукових та інших проблем.

РН09. Застосовувати у науковій та практичній діяльності провідні тенденції, ключові напрями та перспективи розробки нових матеріалів різної природи, основи сучасних технологій виготовлення конструкційних і функціональних матеріалів, «розумних» та біо-матеріалів, матеріалів спеціального (оборонного) призначення, з подовженим строком експлуатації та для відновлюваних джерел енергії.

РН11. Використовувати сучасні інформаційні джерела національного та міжнародного рівня для оцінки стану вивченості об'єкту досліджень і актуальності наукової проблеми.

РН12. Демонструвати навички роботи з сучасним обладнанням при проведенні експериментальних досліджень з прикладної фізики та наноматеріалів.

РН14. Вміти доступно, на високому науковому рівні доносити сучасні наукові знання та результати досліджень до фахової та нефахової аудиторії.

РН15. Володіти навичками усної і письмової презентації результатів досліджень державною та іноземною мовами.

РН16. Описувати результати наукових досліджень у фахових публікаціях у вітчизняних та закордонних спеціалізованих виданнях, в тому числі, у внесених до наукометричних баз Scopus, Web of Science або їм аналогічних.

РН18. Дотримуватись етичних норм, враховувати авторське право та норми академічної доброчесності при проведенні наукових досліджень, презентації їх результатів та у науково-педагогічній діяльності.

РН19. Знайти оригінальне інноваційне рішення, направлене на розв'язання конкретної науково-технічної проблеми.

2. Місце в структурно-логічній схемі навчання за відповідною освітньою програмою

Перелік освітніх компонент, знань та умінь, володіння якими необхідні аспіранту для успішного засвоєння освітньої компоненти:

Пререквізити:	
Матеріалознавство	Основи матеріалознавства як міждисциплінарної галузі науки, що вивчає залежність між складом, структурою та властивостями матеріалів у взаємозв'язку з технологією їх отримання, умовами експлуатації та вартістю.
Загальна і неорганічна хімія	Екзотермічні і ендотермічні процеси, теплові ефекти, швидкості хімічних реакцій, хімічна рівновага
Основи фізики конденсованого стану речовини	Фізична сутність явищ в досліджуваних матеріалах і елементах; кристалічна структура твердого тіла; дефекти в кристалах; поняття оберненої ґратки і основи теорії дифракції.
Науково-дослідна практика	Знання з технології та інженерії, а також дослідницькі навички, достатні для проведення досліджень з відповідного напрямку.
Постреквізити:	
Наукова складова	Планування і виконання експериментальних досліджень з використанням сучасних методів та методик дослідження, критичний аналіз результатів досліджень.

3. Зміст освітньої компоненти

Тема 1. «Вимірювання температури».

Термодинамічна температурна шкала. Міжнародна практична температурна шкала (МПТШ). Датчики температури.

Тема 2. «Види термічного аналізу».

Визначення. Пірометрія – типи пірометрів. Внесення поправок на випромінювальну здатність зразків. Дилатометрія. Вимірювання електроопору та магнітних властивостей.

Тема 3. «Диференційний термічний аналіз».

Принципова схема. Загальний вигляд вимірювальної комірки і апаратури. Вибір сенсорів і тиглів. Дериватографія. Інтерпретація результатів. Сучасні прилади і області використання.

Тема 4. «Калориметрія».

Типи калориметрів. Визначення термодинамічних характеристик матеріалів. Сучасні прилади і області використання.

Тема 5. «Використання даних про термічні властивості матеріалів Використання даних про термічні властивості матеріалів».

Зв'язок термічних ефектів на кривих ДТА та інших термічних залежностях із діаграмами стану. Політермічні перерізи потрійних систем. Використання даних термічного аналізу для вибору температур відпалу, спікання та інших видів термообробки матеріалів.

Тема 6. «Основи рентгенодифракційних методів».

Рентгенографія – методи дослідження кристалічної структури. Основні положення. Елементи структурної кристалографії.

Тема 7. «Обробка дифрактограм».

Сучасні програмні комплекси по обробці дифракційних даних (PowderCell, PDXL, Match!3). Бази даних (PDF-2, ICSD, COD).

Тема 8. «Обробка дифрактограм – продовження».

Повнопрофільний аналіз дифракційних спектрів та метод Рітвельда.

Тема 9. «Мессбауерівська спектроскопія».

ЯГР-спектроскопія: елементи теорії ядерних спектрів, суть ефекту Мессбауера. Конверсійні ЯГР-спектри.

Тема 10. «ВІМС – мас-спектроскопія вторинних іонів».

Іонізація в індуктивно звязаній плазмі. Основні типи мас-аналізаторів: Магнітні (секторні), квадрупольні, часопрольотні, трьохмірна іонна ловушка.

Тема 11. «Теоретичні основи електронної мікроскопії»

Предмет електронної мікроскопії. Історична справка. Фізичні основи взаємодії електронів з речовиною. Локальні методи дослідження. Роздільна здатність. Типи електронних мікроскопів.

Тема 12. « Просвічуюча електронна мікроскопія (ПЕМ)».

Принципова схема будови просвічуючого електронного мікроскопу та принцип роботи (світле, темне поле; перехід від зображення до дифракції). Дифракція від вибраної ділянки. Постійна прилада.

Тема 13. «Підготовка зразків для дослідження методом ПЕМ».

Виготовлення тонких фольг, електро- та хімічне полірування, іонне бомбардування, метод реплік; артефакти, що виникають внаслідок препарування об'єктів. Техніка безпеки.

Тема 14. «Дослідження дислокаційних структур, двофазних матеріалів та інших дефектних структур методом ПЕМ».

Основи кінематичної та динамічної теорії контрасту. Абсорбційний, дифракційний, амплітудний, фазовий (інтерференційний) контраст. Аналіз зображень. Точкові та кільцеві електроннограми. Розшифровка стандартних електроннограм.

Тема 15. «Растрова (скануюча) електронна мікроскопія (РЕМ). Оже електронна спектроскопія (ОЕС). Зондова мікроскопія (растровий туннельний мікроскоп (РТМ), атомний силовий мікроскоп (АСМ))».

Принципи дії та принципові схеми будови мікроскопів, їх застосування. Підготовка зразків. Фрактографія.

Тема 16. «Загальні відомості про механічні випробування. Одновісний розтяг. Діаграми навантаження.»

Стандартні механічні характеристики. Нормальні напруження та відносна деформація. Коефіцієнт Пуассона. Умови жорсткості.

Тема 17. «Випробування на стиснення. Теоретичні положення. Вимоги до зразків. Діаграми навантаження.»

Використання тензорезисторів для вимірювання деформації та визначення границі пропорційності та границі текучості. Плоский напружений стан.

Тема 18. «Випробування на згин. Геометричні характеристики плоских перерізів»
Нормальні і дотичні напруження. Відносна деформація. Формула Нав'є. Вимірювання прогинів.

Тема 19. «Випробування на зсув. Випробування на кручення. Теоретичні положення. Вимоги до зразків. Діаграми навантаження»

Поняття про простий зсув і чистий зсув. Закон Гука при зсуві та крученні. Зв'язок між кутовою та лінійною деформаціями. Істинне напруження та істинна деформація при крученні.

Тема 20. «Методи вимірювання твердості. Нанотвердість. Зв'язок характеристик твердості з іншими механічними властивостями. Визначення ударної в'язкості»

Твердість по Брінелю, по Роквелу і по Вікерсу. Прилади для вимірювань твердості. Розрахунок твердості по відбитках. Види ударної в'язкості. Конструкції і принцип дії копрів.

4. Навчальні матеріали та ресурси

Навчальні матеріали, зазначені нижче, доступні у бібліотеці інституту, а також може бути надана в електронному вигляді. Обов'язковою до вивчення є базова література, інші матеріали – факультативні.

Базова література:

1. Барчій І.Є., Переш Є.Ю., Різак В.М., Худолій В.О. Гетерогенні рівноваги. – Ужгород: Закарпаття, 2003. – 212 с.
2. Термічний аналіз / Thermal Analysis by Pavan M. V. Raja & Andrew R. Barron is licensed CC BY 4.0. Original source: <http://cnx.org/contents/ba27839d-5042-4a40-afcf-c0e6e39fb45425.2>, бібліотека LibreTexts, 2022
3. Аналіз температури плавлення. Там же.
4. Boettinger W.J., Kattner U.R., Moon K.-W., Perepezko J.H. DTA and Heat-flux DSC Measurements of alloy Melting and Freezing, NIST recommended practice guide, Special publication 960–15, NIST, 2006. – 90 p.
5. Klimm, Detlef. Thermal Analysis and Thermodynamics: In Materials Science, Berlin, Boston: De Gruyter, 2022. <https://doi.org/10.1515/9783110743784>
6. Brown M.E. Introduction to Thermal Analysis. Techniques and Applications: 2nd ed. — Kluwer, 2001. — 310 p. ISBN: 978-1-4020-0472-8
7. Чумак В.Л., Іванов С.В. Фізична хімія. – Київ : Книжкове вид-во НАУ, 2007. – 648 с.
8. Ковальчук Є.П. Фізична хімія: Підручник. / Є.П. Ковальчук, О.В. Решетняк. – Львів: Видавничий центр ЛНУ імені Івана Франка, 2007. – 800 с
9. Thomas G., Goringe M.J. Transmission Electron Microscopy of Materials, New York, Chichester, Brisbane, Toronto, 1979, 388 p.
10. Williams D., Carter C.B. Transmission Electron Microscopy, Vol. 1 – Basics. Plenum Press., 1996, 837 p.
11. Egerton R. Physical principles of electron microscopy, Springer, 2005, 202 p.
12. Hirsch Peter B. Electron Microscopy of Thin Crystals (6th printing Edition), 1993, 563 p.
13. Куницький Ю.А., Купина Я.І. Електронна мікроскопія, Київ, Либідь, 1998, 389 с.
14. Goldstein J., Newbury D. et al. Scanning Electron Microscopy and X-Ray Microanalysis. Kluwer Academic, New York; 2003, 688 p.
15. Andrews K.W., Dyson D.J., Keown S. R. Interpretation of Electron Diffraction Patterns, Springer, 2013, 188 p.
16. Amelinckx S. Diffraction and Imaging Techniques in Material Science, Published: January 1, 1978, 472 p.
17. Fultz B., Howe J.M. Transmission electron microscopy and diffractometry of materials, Heidelberg: Springer-Verlag, 2001, 748 p.
18. Pennycook S., Nellist P. Scanning Transmission Electron Microscopy, New York: Springer, 2011, 762 p.
19. Timoshenko S. Strength of Materials. Part 1. Elementary Theory and Problems. D. Van Nostrand Company, 1st Ed. 1930, 2nd Ed. 1940, 3rd Ed. 1955.
20. Цурпал І.А. Механіка матеріалів і конструкцій: Навч. Посібник. – К.: Вища освіта, 2005. – 367 с.

Навчальний контент

5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Передбачено комплексний підхід, що поєднує лекції та семінари, а також розгляд питань, що виносяться на самостійну роботу. При читанні лекцій застосовується ілюстративний матеріал у вигляді презентацій, які розміщені в Google Classroom. Після кожної лекції рекомендується ознайомитись з матеріалами, рекомендованими для самостійного вивчення, а перед наступною лекцією – повторити матеріал попередньої.

Метою практичних занять є закріплення теоретичних знань, отриманих на лекціях та в процесі самостійної роботи з літературними джерелами в ході вивчення освітньої компоненти.

6. Самостійна робота

Самостійна робота включає повторення лекційного матеріалу, опрацювання рекомендованої літератури, що дозволяє розширити та поглибити знання з дисципліни, підготовку до практичних завдань та заліку.

Політика та контроль

7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Відвідування лекційних та семінарських занять, які можуть проводитись як он-лайн, так і офф-лайн, є обов'язковим. У випадку відсутності на занятті аспіранти зобов'язані повідомити викладача заздалегідь і надати документальне підтвердження причини відсутності, якщо це можливо. На початку кожної лекції проводиться опитування за матеріалами попередньої лекції із застосуванням інтерактивних засобів з метою визначення рівня обізнаності здобувачів за даною темою та підвищення зацікавленості. Під час сигналу повітряної тривоги заняття негайно припиняється, а всі учасники навчального процесу повинні пройти в найближче укриття. Для завершення заняття організується додатковий час.

Правила призначення заохочувальних та штрафних балів. Заохочувальні бали можуть нараховуватись викладачем за активну участь у заняттях, виконання творчих робіт з освітньої компоненти або додаткового проходження он-лайн профільних курсів з отриманням відповідного сертифікату. Але їх сума не може перевищувати 25% від рейтингової шкали. Штрафні бали в рамках освітньої програми не передбачені.

Політика дедлайнів та перескладань. Дедлайни здачі завдань та контрольних робіт є обов'язковими. У разі поважних причин, аспіранти можуть звернутись до викладача для можливої зміни продовження термінів. Запити на продовження дедлайну повинні бути подані заздалегідь.

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

В рамках навчальної дисципліни передбачено кілька видів контролю та систему рейтингування результатів навчання, а саме:

Поточний контроль: опитування під час лекцій та на семінарських заняттях.

Семестровий контроль: екзамен.

Рейтингова система оцінювання формується з суми балів, набраних під час поточного та семестрового контролю. Рейтинг аспіранта R розраховується за 100 бальною шкалою та складається з балів, що він отримує протягом семестру (стартовий рейтинг) S та диференційованого заліку C . Додаткові бали D можна отримати за активну участь у заняттях, виконання творчих робіт з освітньої компоненти або додаткового проходження он-лайн профільних курсів з отриманням відповідного сертифікату. Таким чином, сумарний рейтинговий бал розраховується як

$$R=S + C + D$$

Стартовий рейтинг S складається з балів, що аспірант отримує за відвідування занять (1 бал), активну роботу на занятті (2 бали), правильну відповідь при поточному опитуванні (2 бали), виконання творчого завдання (5 балів). Максимальна сума балів, яку

аспірант може набрати протягом семестру (стартовий рейтинг), складає 50 балів. Умовою допуску до кваліфікаційного екзамену є кількість рейтингових балів не менше 30. Сумарний рейтинговий бал розраховується за формулою:

$$R=S + C + D,$$

де *S* – стартовий рейтинг;
C – кваліфікаційний екзамен;
D – додаткові бали.

Відповідність між кількістю балів, оцінкою за національною шкалою та шкалою ECTS наведена в таблиці.

Кількість балів	Шкала ECTS	Оцінка за національною шкалою
90-100	A	Відмінно
85-89	B	Добре
75-84	C	
65-74	D	Задовільно
60-64	E	
Менше 60	FX	Незадовільно
Не виконані умови допуску		Не допущено

9. Додаткова інформація з освітньої компоненти

Робочу програму освітньої компоненти (силабус):

Складено к.ф.-м.н., с.н.с., пров. н.с. Т. Г. Рогуль, д.х.н., проф., зав. від. А. А. Бондар д.ф.-м.н., проф., пров. н.с. М. В. Карпець, к.ф.-м.н., с.н.с. Д. Г. Вербило

Ухвалено Вченою радою Інституту проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича Національної академії наук України (протокол №10 від «06» серпня 2024 р.).