

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ПРИКАРПАТСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ ВАСИЛЯ СТЕФАНІКА**

Факультет фізико-технічний

Кафедра матеріалознавства і новітніх технологій

**СИЛАБУС НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ**

**Методи дослідження наноматеріалів**

Освітня програма другого (магістерського) рівня

Спеціальність 105 Прикладна фізика та наноматеріали

Галузь знань 10 Природничі науки

Затверджено на засіданні кафедри  
Протокол № 1 від “30” серпня 2021 р.

м. Івано-Франківськ - 2021

## ЗМІСТ

1. Загальна інформація
2. Анотація до курсу
3. Мета та цілі курсу
4. Результати навчання (компетентності)
5. Організація навчання курсу
6. Система оцінювання курсу
7. Політика курсу
8. Рекомендована література

<b>1. Загальна інформація</b>	
<b>Назва дисципліни</b>	Методи дослідження наноматеріалів
<b>Викладач (-і)</b>	доктор фізико-математичних наук, професор Ільницький Роман Васильович
<b>Контактний телефон викладача</b>	0501027374
<b>E-mail викладача</b>	<a href="mailto:roman.ilnitsky@pnu.edu.ua">roman.ilnitsky@pnu.edu.ua</a>
<b>Формат дисципліни</b>	Лекції, практичні заняття, лабораторні, самостійна робота
<b>Обсяг дисципліни</b>	180 годин (6 кредити)
<b>Посилання на сайт дистанційного навчання</b>	<a href="http://www.d-learn.pu.if.ua/">http://www.d-learn.pu.if.ua/</a>
<b>Консультації</b>	Щотижня
<b>2. Анотація до курсу</b>	
<p>Курс «Методи дослідження наноматеріалів» створений для студентів спеціальності 105 Прикладна фізика та наноматеріали, ОР магістр. Зміст та матеріал навчальної дисципліни стосується деталізації можливості інструментів нанотехнологій та використання цього інструментарію для виготовлення та характеристик наномасштабних матеріалів. Студенти ознайомлюються із практичними методиками формування та дослідження наноматеріалів, теоретичними підходами пояснення їх властивостей, навичками та інструментами, які дозволяють перетворити новітні ідеї зі сфери нанотехнологій у фізичну форму та які дозволять візуалізувати і проаналізувати характеристики наномасштабних об'єктів</p>	
<b>3. Мета та цілі курсу</b>	
<p>Метою курсу “Методи дослідження наноматеріалів” є забезпечити засвоєння студентами знань про фізичні засади, які лежать в основі роботи вимірних установок. Сформувані у студентів уявлення про сучасний стан вимірної техніки, ознайомити їх з конкретними методами отримання інформації про структуру та фізичні властивості наноматеріалів.</p> <p>Завдання: навчити студента методик вимірювання структури та фізичних властивостей наноб'єктів, способів підготовки зразків до досліджень, аналізувати отримані результати та знаходити оптимальні шляхи отримання інформації про досліджуваний нанооб'єкт з мінімальною кількістю вимірювань.</p> <p>У результаті вивчення навчальної дисципліни студент повинен знати: основні руйнівні і неруйнівні методи досліджень, зокрема X-променевою спектроскопію, порометрію, методи термогравіметричного та диференціально-термічного аналізів, мессбауерівську спектроскопію, мало кутове X-променеве розсіювання, комбінаційне розсіювання світла, катодолюмінісценцію, ядерний парамагнітний резонанс, методи імпедансної спектроскопії, інфрачервоною спектроскопію, Оже-електронну спектроскопію, СЕМ і ТЕМ мікроскопії, циклічну вольтамперометрію, електронний парамагнітний резонанс, люмінесценцію.</p> <p>вміти: провести дослідження властивостей нанооб'єкту на предмет визначення тих чи інших його параметрів, встановити взаємозв'язок між ними, визначити погрішність проведених вимірів. З'ясувати, при яких розмірах нанооб'єкту його властивості кардинально відрізняються від таких властивостей для масивного зразка.</p>	
<b>4. Компетентності</b>	
<p><b>Загальні компетентності</b></p> <p>Вміння виявляти, ставити та вирішувати проблеми. Здатність планувати та управляти часом. Здатність мотивувати людей та рухатися до спільної мети. Професійні етичні зобов'язання. Здатність бути критичним і самокритичним.</p> <p>Знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності. Визначеність і наполегливість щодо поставлених завдань і взятих зобов'язань. Здатність до пошуку, обробки та аналізу інформації з різних джерел.</p>	

Прагнення до збереження навколишнього середовища та застосування енергозберігаючих технологій.

Здатність до аналізу та синтезу.

Здатність проведення досліджень на відповідному рівні.

Здатність розробляти та управляти проектами..

### **Спеціальні (фахові, предметні) компетентності)**

Здатність використовувати закони й принципи фізики у поєднанні із потрібними математичними інструментами для опису природних явищ.

Здатність пояснити фізику процесів самоорганізації, що протікають під час синтезу наноструктур та наступних їхніх обробок.

Здатність будувати відповідні моделі природних явищ, досліджувати їх для отримання нових висновків та поглиблення розуміння природи.

Здатність професійно орієнтуватися в сучасних проблемах прикладної фізики і новітніх фізичних методах досліджень і наукових технологій.

Здатність правильно використовувати набуті знання і навички на практиці та при роботі у науково-дослідних лабораторіях.

Здатність формулювати, аналізувати та синтезувати розв'язки наукових проблем на абстрактному рівні шляхом декомпозиції їх на складові, які можна дослідити окремо в їх більш та менш важливих аспектах.

Здатність використовувати сучасні підходи і методи досліджень методів X-променевої діагностики.

Здатність використовувати теоретичні і практичні знання в галузі чисельних методів, розробляти теоретичні і прикладні моделі розв'язуваних наукових проблемі задач.

Здатність виконувати оригінальні дослідження в експериментальній прикладній фізиці та наноматеріалів і досягати наукових результатів із звертанням та використанням новітніх наукових методів.

Здатність використання наукового обладнання та технологій, що відносяться до прикладної фізики та виробів з наноматеріалів.

Здатність аналізувати дані проведених експериментів із дослідження фізики конденсованого стану та матеріалознавства наноматеріалів.

## **5. Результати навчання**

### **Програмні результати навчання**

Уміння застосовувати знання і розуміння для розв'язання задач, які характерні обраній спеціальності.

Вміти використовувати методи та методики проведення наукових таприкладних досліджень.

Знати методологію системних досліджень, методів дослідження та аналізу складних об'єктів та процесів, розуміти їх складність, їх різноманіття, багатофункціональність для розв'язання прикладних завдань в галузі професійної діяльності.

Систематично читати літературу за фахом (у тому числі закордонну), складати реферати, анотації, аналітичні огляди тощо.

Уміти пояснити фізику процесів самоорганізації, що протікають під час синтезу наноструктур та наступних їхніх обробок

Використовувати набуті знання і навички на практиці та при роботі у науково-дослідних лабораторіях, визначати симетрію кристалічних многогранників, ініціювати кристалографічні площини, застосовувати основи теорії дифракції X-променів для пояснення суті структурних методів дослідження твердих тіл.

Використовувати метод кореляційних функцій до обчислення термодинамічних величин.

Застосовувати кристалічні класи до поверхневих об'єктів, флуктуаційну теорію критичної точки до утворення зародків при фазових переходах.

Проводити математичне моделювання, аналітичні обчислювання чи чисельні розрахунки з врахуванням можливостей сучасних високопродуктивних обчислювальних систем.

Вміти аналізувати альтернативні варіанти розв'язання дослідницьких і практичних задач та оцінювати потенційні виграшні/програшні реалізації цих.

Вміти вибирати метод дослідження і тип експериментальної установки для дослідження конкретної задачі і в конкретному діапазоні досліджуваних параметрів

Здобуття і розуміння поглибленого рівня у прикладній фізиці та наноматеріалознавстві та споріднених областях, включаючи методики проведення експериментів і технології отримання наноматеріалів, рівень цих знань повинен бути остатнім для проведення наукових досліджень на

рівні освітніх досягнень в напрямленим на їх розширення та поглиблення.					
<b>6. Організація навчання курсу</b>					
Обсяг курсу					
Вид заняття			Загальна кількість годин		
лекції			14		
семінарські заняття / <u>практичні</u> / <b>лабораторні</b>			26/20		
самостійна робота			120		
Ознаки курсу					
Семестр	Спеціальність	Курс (рік навчання)		Нормативний / вибірковий	
2	105 Прикладна фізика та наноматеріали другий (магістерський) рівень	I		вибірковий	
Тематика курсу					
Тема, план	Форма заняття	Літера- тура	Завдання, год	Вага оцінки	Термін виконання
<b>Змістовий модуль 1.</b>					
<b>Руйнівні методи досліджень</b>					
<b>Тема 1. Порометрія</b> Визначення питомої поверхні матеріалу. Визначе- ння розподілу пор за розмі- рами. Типи ізотерм. Рівняння Brunauer, Emmett і Teller. Рівняння Langmuir. Класифі- кація пор з IUPAC.	Лекція /практич на/ лаборат орна	згідно списку літера- тури	Підготовка конспекту з теми під час лекції. Доповідь та презентації. Тестування, 1/2/4	5	згідно розкладу
<b>Тема 2. Термічний аналіз</b> Диференціальний терміч- ний аналіз (ДТА). Термограві- метричний аналіз. Деривато- графічний аналіз. Розшифров- ка дериваторам. Розрахунок енергії активації перетворення	Лекція/ практич на / лаборат орна	згідно списку літера- тури	Підготовка конспекту з теми під час лекції. Доповідь та презентації. Тестування, 1/2/4	5	згідно розкладу
<b>Тема 3. X-променеви аналіз</b> X-променева спектро- скопія. Суцільні і лінійні X- спектри. X-променева дифра- ктометрія. X-променеви структурний аналіз. Експери- ментальні методи X-проме- невого структурного аналізу.	Лекція/ практич на/ лаборат орна	згідно списку літера- тури	Підготовка конспекту з теми під час лекції. Доповідь та презентації. Тестування, 1/2/4	5	згідно розкладу
<b>Тема 4. Мессбауерівська спектроскопія</b> Ефект Мессбауера. Ширина спектральних ліній. Мессбау- ерівський спектрометр. Кон- версійна Мессбауерівська	Практич на/ лаборат орна	згідно списку літера- тури	Доповідь та презентації. Тестування 1/4	5	згідно розкладу

спектроскопія. Квадрупольне розщеплення.					
<b>Тема 5. КРС спектроскопія</b> Інфрачервоні спектри. Спектри комбінаційного розсіювання. Деякі особливості коливальних спектрів. Модель гармонійного осцилятора (ГО). Коливальна енергія молекул. Молекула як ангармонійний осцилятор	Лекція/ практична	згідно списку літератури	Підготовка конспекту з теми під час лекції Тестування 1/1	5	згідно розкладу
<b>Тема 6. Малокутове X-променеве розсіювання</b> Фрактальна структура. Рівняння Порода. Співвідношення Гіньє.	Лекція/ практична/ лабораторна	згідно списку літератури	Підготовка конспекту з теми під час лекції. Доповідь та презентації. Тестування, 1/2/4	5	згідно розкладу
<b>Тема 7. Катодолюмінесценція</b> Формування катодолюмінесцентного випромінювання. Апаратура. Інформативність сигналу катодолюмінесценції.	Лекція/ практична	згідно списку літератури	Підготовка конспекту з теми під час лекції Тестування 1/2	5	згідно розкладу
<b>Тема 8. Ядерний магнітний резонанс</b> Внутрішньокристалічне поле. Квадрупольний момент ядра. Розщеплення ліній ядерного магнітного резонансу. Ефект Зеемана.	Лекція/ практична	згідно списку літератури	Підготовка конспекту з теми під час лекції Тестування 1/2	5	згідно розкладу
<b>Змістовий модуль 2.</b>					
<b>Неруйнівні методи досліджень</b>					
<b>Тема 9. Імпедансна спектроскопія</b> Визначення електрохімічних характеристик системи методом імпедансної спектроскопії. Годограф. Гальваностатичний метод. Потенціодинамічний метод. Діаграми Найквіста, Боде. Еквівалентні електричні схеми. Модель Рендліса-Ершлера	Лекція/ практична	згідно списку літератури	Підготовка конспекту з теми під час лекції Тестування 1/1	5	згідно розкладу
<b>Тема 10. ІЧ-спектроскопія</b> ІЧ-область випромінювання. Закон Бугера-Ламберта. Фур'є спектрометри. Поглина-	Лекція/ практична	згідно списку літератури	Підготовка конспекту з теми під час лекції Тестування 1/1	5	згідно розкладу

ння інфрачервоного світла металами, діелектриками та напівпровідниками.					
<b>Тема 11. Оже-електронна спектроскопія</b> Фізичні основи Оже-електронної спектроскопії. Реалізація методу. Кількісна Оже-спектроскопія. Растрова Оже-електронна спектроскопія. Застосування Оже-електронної спектроскопії.	Лекція/ практична	згідно списку літератури	Підготовка конспекту з теми під час лекції Тестування 1/2	5	згідно розкладу
<b>Тема 12. СЕМ і ТЕМ мікроскопії</b> Растровий електронний мікроскоп. Просвічуючий електронний мікроскоп. Роздільна здатність. Скануюча зондова мікроскопія. Атомно силова мікроскопія. Магнітно силова мікроскопія.	Лекція/ практична	згідно списку літератури	Підготовка конспекту з теми під час лекції Тестування 1/2	5	згідно розкладу
<b>Тема 13. Циклічна вольтамперометрія (ЦВА)</b> Лінійна розгортка потенціалу. Вольтамперограми. Циклічна вольтамперограма ідеально оборотного електрохімічного процесу. Швидкість електрохімічної реакції.	Лекція/ практична	згідно списку літератури	Підготовка конспекту з теми під час лекції Тестування 1/2	5	згідно розкладу
<b>Тема 14. Електронний парамагнітний резонанс</b> Парамагнетизм. Явище електронного парамагнітного резонансу. Квантовомеханічна інтерпретація ЕПР. Класична інтерпретація ЕПР. Спектрометри ЕПР. Основні характеристики спектрів ЕПР.	Лекція/ практична	згідно списку літератури	Підготовка конспекту з теми під час лекції Тестування 1/2	5	згідно розкладу
<b>Тема 15. Люмінесценція</b> Явище люмінесценції. Загальний опис. Історія розвитку люмінесцентного аналізу. Прилади для люмінесцентного аналізу. Види люмінесцентного аналізу. Кількісний та якісний аналіз.	Лекція/ практична	згідно списку літератури	Підготовка конспекту з теми під час лекції Тестування 1/2	5	згідно розкладу
Підсумковий контроль (екзамен)				50	
<b>6. Система оцінювання курсу</b>					
Загальна система оцінювання курсу	Структура розподілу балів у ході аудиторно-самостійної роботи:				

	<p>1) присутність на лекційному та семінарському занятті – 1 бал;</p> <p>2) усні відповіді на семінарських заняттях з використанням презентацій; підготовка доповідей, есе, тощо – максимально - 5 балів (обов'язковою є одна оцінка із п'яти семінарських/практичних занять);</p> <p>3) одна контрольна робота (письмова форма/дистанційна із використанням комп'ютерних технологій) – максимально 5 балів.</p> <p>4) самостійна робота – здійснюється як в аудиторний так і поза аудиторний час із наперед визначених робочою програмою тем (максимально -25 балів).</p> <p>Мінімальна кількість балів допуску до екзамену – 25 балів  Максимальна кількість балів допуску до екзамену – 50 балів  Екзамен – 50 балів  Підсумкова оцінка – максимум 100 балів (мінімум 50 балів).</p>
Вимоги до письмової роботи	<p>Обов'язковим є написання однієї контрольної роботи. Результат роботи оцінюється максимально - 5 балів. Контрольна робота – охоплює матеріал лекційних тем. Кількість запитань: 4. Запитання відкритого типу (без варіантів відповідей). Час виконання: 80 хв. (в межах семінарського заняття) / або у дистанційній формі із використанням тестових технологій (Структура тесту: Загальна кількість питань - 40; На одне поставлене питання є чотири варіанти відповідей, одна з яких правильна). Критерії оцінювання:</p> <p>Контрольна робота максимально оцінюється у 5 балів. При цьому, 5 балів виставляється, коли усі питання розкриті повністю, наведені конкретні приклади описаних понять та феноменів з ґрунтовним аналізом їх характерних особливостей. 4 бали – питання розкриті не в повній мірі, з мінімальною кількістю прикладів та характерних особливостей, проте аспірант дав відповіді на всі питання. 3 б. - аспірант не дав відповідь на два питання, проте дав часткові відповіді на решта питань 2 б. виставляється аспіранту, який не відповів на жодне питання контрольної роботи або не розкрив зміст жодного із питань.</p>
Семінарські заняття	<p>Робота на семінарських заняттях оцінюється за наступними критеріями:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- присутність на занятті та підготовлений конспект згідно плану практичного заняття - 1 бал;</li> <li>- опрацювання проблемних питань та їх усне обговорення в дискусійній формі (доповнення, відповіді на запитання викладача, висловлювання своєї обґрунтованої точки зору під час обговорення проблемних питань, тощо) - 3 бали;</li> <li>- виступ із доповіддю на питання, яке визначене планом практичного завдання - 4 бали (за умови, що відповідь буде змістовною та відповідати плановому питанню);</li> <li>- якщо при виступі проявлена ґрунтовна підготовка, висловлюється власна точка зору щодо означеної проблеми, яка підкріплюється відповідною аргументацією,</li> </ul>



	<p>використовується попередньо розроблена презентація, подані правильні відповіді на уточнюючі запитання викладача та студентів - 5 балів.</p> <p>Таким чином участь в роботі практичних занять може забезпечити отримання до 5 балів за одне заняття.</p> <p>В межах 5 запланованих семінарських занять є обов'язковою 1 (одна) усна відповідь.</p>
Умови допуску до підсумкового контролю	<p>Підсумкова оцінка виставляється після повного вивчення навчальної дисципліни, яка виводиться як сума проміжних оцінок, які отримав аспірант.</p> <p>Студент допускається до підсумкового контролю (екзамен) за умови виконання усіх запланованих видів робіт і отримання 25 і більше балів (максимально – 50).</p>

### **7. Політика курсу**

Політика курсу:

- не запізнюватися та не пропускати заняття;
- добросовісно готуватися до виконання лабораторних робіт;
- відпрацьовувати лабораторні заняття, пропущені з поважних причин
- самостійно працювати з рекомендованою та допоміжною літературою.

Норми академічної етики мають повністю відповідати Кодексу честі ДВНЗ «Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника», який Ухвалений Конференцією трудового колективу ДВНЗ «Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника» 29 грудня 2015 року (зі змінами від 29 листопада 2017 року, протокол засідання Вченої ради ДВНЗ «Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника» №11).

Різні конфліктні ситуації відкрито обговорюються у групі, безпосередньо, з викладачем або едвайзером чи співробітниками деканату.

### **8. Рекомендована література**

#### **Базова**

1. Лившиц Б. Г. Физические свойства металлов и сплавов / Б. Г. Лившиц, В. С. Крапошин, Я. Л. Линецкий. – М. : Металлургия, 1980.– 320 с.
2. Лившиц Б. Г. Физические свойства металлов и сплавов / Б. Г. Лившиц. – М. : ГНТИ, 1959.– 368 с.  
<ftp://lib.localnet/ebooks/nashiskanirovannie/1126.pdf>
3. Избранные методы исследования в металловедении / пер. с нем. под ред. Хунгера Г. И. – М. : Металлургия, 1985.– 416 с.
4. Ван Флек Л. Теоретическое и прикладное материаловедение / пер. с англ. – М. : Атомиздат, 1975.– 472 с.
5. Ермаков С. С. Физика металлов и дефекты кристаллического строения: учеб. пособие. – Л. : Изд. Ленинградского университета, 1989.– 280 с.
6. Журавлев Л. Г. Физические методы исследования металлов и сплавов / Л. Г. Журавлев, В. И. Филатов. – Челябинск : Из-во ЮУрГУ, 2004.– 157 с.
7. Белоус М. В. Физика металлов / М. В. Белоус, М. П. Браун. – М. : Высшая школа, 1986.– 343 с.
8. Таблицы физических величин: справочник / под. ред. И. К. Кикоина. – М. : Атомиздат, 1976.– 1008 с.
9. Физические величины: справочник / А. П. Бабичев, Н. А. Бабушкина, А. М. Братковский и др.; под. ред. И. С. Григорьева, Е. З. Мейлихова. – М. : Энергоатомиздат, 1991.– 1232 с.
10. Вилков Л. В. Физические методы исследования в химии: Структурные методы и оптическая спектроскопия / Л. В. Вилков, Ю. А. Пентин. – М. : Высшая школа, 1987.– 366 с.

11. Вилков Л. В. Физические методы исследования в химии: Резонансные и электрооптические методы / Л. В. Вилков, Ю. А. Пентин. – М. : Высшая школа, 1989.– 288 с. 253
12. Нефедов В. И. Электронная структура химических соединений / В. И. Нефедов, В. И. Вовна. – М. : Наука, 1987.– 347 с.
13. Вовна В. И. Электронная структура органических соединений по данным фотоэлектронной спектроскопии.– М. : Наука, 1991.– 246 с.
14. Мазалов Л. Н. Рентгеновские спектры и химическая связь. – Новосибирск : Наука, 1982.– 111 с.
15. ЦКП «Материаловедение и диагностика в передовых технологиях» при ФТИ им. А. Ф. Иоффе. Рентгено-спектральный микроанализ с использованием энергодисперсионного спектрометра // методические указания к лабораторным работам по диагностике материалов. – Санкт-Петербург, 2010.– 19 с.
16. Количественный электронно-зондовый микроанализ / Quantitative electron-probe microanalysis / под ред. В. Скотта, Г. Лава. – М. : Мир, 1986.– 352 с.
17. Электронно-зондовый микроанализ / Electron probe microanalysis / пер. с англ. С. Г. Конникова и А. Ф. Сидорова. – М. : Мир, 1974.– 264 с.
18. Рид С. Электронно-зондовый микроанализ / Electron microprobe analysis / пер. с англ. А. И. Козленкова. – М. : Мир, 1979.– 425 с.
19. Избранные методы исследования в металловедении: пер. с нем. / Под ред. Г. Й. Унгера. – М. : Металлургия, 1985.– 408 с.
20. Микроанализ и растровая электронная микроскопия / под ред. Ф. Морис, Л. Мени, Р. Тиксье. – М. : Металлургия, 1985.– 392 с.
21. Горелик С. С. Рентгенографический и электронно-оптический анализ / С. С. Горелик, Ю. А. Скаков, Л. Н. Расторгуев. – М. : МИСиС, 1994.– 330 с.
22. Гоулдстейн Дж. Растровая электронная микроскопия и рентгеновский микроанализ / Дж. Гоулдстейн, 254 Д. Ньюбери, П. Эчлин П. и др. – М. : Мир, 1984.– Кн. 1.– 303 с.
23. Томас Г. Просвечивающая электронная микроскопия / Г. Томас, Дж. Гориндж. – Москва: Наука, 1983.– 320 с.
24. Пилянкевич А. Н. Электронные микроскопы / А. Н. Пилянкевич, А. М. Климовицкий. – Киев: Техника, 1976.– 168 с.
25. Проценко І. Ю. Прилади і методи дослідження плівкових матеріалів: навч. посіб. // І. Ю. Проценко, А. М. Черноус, С. І. Проценко; за заг. ред. І. Ю. Проценка. – Суми : Сумський державний університет, 2007.– 264 с.
26. Горшковский Я. Техника высокого вакуума. – М. : Мир, 1975.– 622 с.
27. Деркач В. П. Электронно-зондовые устройства / В. П. Деркач, Г. Ф. Кияшко, М. С. Кухарчук. – Київ : Наукова думка, 1974.– 354 с.
28. Гоулдстейн Дж. Практическая растровая электронная микроскопия / Дж. Гоулдстейн, Х. Яковица: пер. с англ. – М. : Мир, 1978.– 656 с.
29. Хокс П. Электронная оптика и электронная микроскопия. – М. : Мир, 1974.– 354 с. 255 Навчальне видання.

Викладач \_\_\_\_\_ Ільницький Р.В.