МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Львівський національний університет імені Івана Франка
Фізичний факультет
Кафедра фізики твердого тіла

Затверджено
На засіданні кафедри фізики твердого тіла фізичного факультету Львівського національного університету імені Івана Франка
(протокол № 1 від 31 серпня 2026 р.)

Завідувач кафедри _____
проф. Володимир КАПУСТЯНИК

Силабус з навчальної дисципліни «Нанотехнології і методи візуалізації наноструктур», що викладається в межах ОНП «Прикладна фізика та наноматеріали» третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти для здобувачів зі спеціальності Е6 Прикладна фізика та наноматеріали

Львів 2026

Назва курсу	**Нанотехнології і методи візуалізації наноструктур**
Адреса викладання курсу	вул. Драгоманова, 50, 79005, м. Львів
Факультет та кафедра, за якою закріплена дисципліна	фізичний факультет, кафедра фізики твердого тіла
Галузь знань, шифр та назва спеціальності	10 Природничі науки / 105 Прикладна фізика та наноматеріали
Викладачі курсу	доцент кафедри фізики твердого тіла, к. ф.-м. н. Турко Борис Ігорович
Контактна інформація викладачів	borys.turko@lnu.edu.ua https://physics.lnu.edu.ua/employee/turko-b-i
Консультації по курсу відбуваються	Консультації в день проведення лекцій та практичних занять (за попередньою домовленістю). Також можливі консультації через електронну пошту або он-лайн засобами Microsoft Teams, Skype.
Сторінка курсу	https://physics.lnu.edu.ua/academics/postgraduates
Інформація про курс	Дисципліна «Нанотехнології і методи візуалізації наноструктур» є вибірковою дисципліною зі спеціальності Е6 Прикладна фізика та наноматеріали для ОНП Прикладна фізика та наноматеріали для третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти, яка викладається в 3 семестрі в обсязі 3,0 кредитів (за Європейською Кредитно-Трансферною Системою ECTS).
Коротка анотація курсу	Курс «Нанотехнології і методи візуалізації наноструктур» охоплює основні відомості про сучасні технології створення та методи візуалізації нанорозмірних структур.
Мета та цілі курсу	Метою вивчення дисципліни «Нанотехнології і методи візуалізації наноструктур» є формування у майбутнього науковця необхідних теоретичних знань і практичних навиків, які дозволять створювати та інтерпретувати якісні і кількісні характеристики низькорозмірних систем з унікальними фізичними властивостями, виводити закономірності між хімічним складом, кристалічною та електронною структурою і фізичними властивостями таких матеріалів, що в подальшому стане цінним інструментом під час виконання дисертаційних робіт.
Література для вивчення дисципліни	**Базова:** 1. Тузяк О. Я., Курляк В. Ю. Основи електронної та зондової мікроскопії: Навч. посібник. – Львів : ЛНУ імені Івана Франка, 2012. – 296 с. 2. Sulabha K. Kulkarni Nanotechnology: Principles and Practices. 3rd Ed. – New Delhi : Co-published by Springer International Publishing, Cham, Switzerland, with Capital Publishing Company, 2015 – 403 p. 3. Заячук Д. М. Нанотехнології і наноструктури : Навч. посібник. – Львів : В-во «Львівська політехніка», 2009. – 580 с. 4. Поплавко Ю. М. Нанофізика, наноматеріали, наноелектроніка: Навч. посібник. – Київ : В-во «КПІ», 2012. – 300 с. **5.** EUR 24957 – NANOTECHNOLOGIES – Principles, Applications, Implications and Hands-on Activities – A compendium for educators. – Luxembourg : Publications Office of the European Union, 2012. – 406 p. **6.** Турко Б. І. Наноматеріали і нанотехнології [Електронний ресурс] : електронний навчальний курс / Б. І. Турко. – Львів : ЛНУ імені Івана Франка, 2023. – Режим доступу: https://e-

	learning.lnu.edu.ua/course/view.php?id=1208. **Допоміжна:** 1. Заячук Д. М. Низькорозмірні структури і надгратки: Навч. посібник. – Львів : В-во «Львівська політехніка», 2006. – 220 с. 2. Фізична наноелектроніка: навчальний посібник / В. С. Осадчук, О. В. Осадчук. – Вінниця : ВНТУ, 2015. – 146 с. 3. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з курсу «Вакуумна техніка» / Укладачі: І. О. Шпетний, І. Ю. Проценко. – Суми : Вид-во СумДУ, 2010. – 45 с. 4. Цехмістренко О. С. Біотехнологія одержання та використання пробіотиків з наночастинками селену та діоксиду церію у птахівництві. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису. Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора сільськогосподарських наук за спеціальністю 03.00.20 – біотехнологія, Білоцерківський національний аграрний університет Міністерства освіти і науки України, Біла Церква, 2021. 5. Roy A. Biological Synthesis of Nanocatalysts and Their Applications / A. Roy, A. Elzaki , V. Tirth [et al.] // Catalysts. – 2021. – V. 11. – P. 1494. 6. Pandit C. Biological Agents for Synthesis of Nanoparticles and Their Applications / C. Pandit, A. Roy, S. Ghotekar [et al.] // Journal of King Saud University – Science. – 2022. – V. 34. – P. 101869. Додаткові матеріали також буде запропоновано для кожної теми окремо. **Інформаційні ресурси:** 1. https://physics.lnu.edu.ua/jps/ 2. https://physics.lnu.edu.ua/research/publications/our-publisher 3. https://www.journals.elsevier.com/nano-today
Тривалість курсу	один семестр
Обсяг курсу	90 годин, з яких 48 годин аудиторних занять, з них 32 годин лекцій, 16 годин практичних занять, та 42 години самостійної роботи
Очікувані результати навчання	В результаті вивчення цього курсу аспірант буде **знати**: технології вирощування нуль-, одно-, дво- та тримірних об’єктів, можливості сучасних методів мікроскопії, розуміти принципи роботи електронних та зондових мікроскопів. **вміти:** створювати об’єкти з різною розмірністю, досліджувати їхню морфологію та хімічний склад мікроскопічними та спектральними методами.
Ключові слова	Наноматеріали, нанотехнології, нанофізика, електронна та зондова мікроскопії.
Формат курсу	очний / дистанційний
	проведення лекцій, практичних робіт та консультації для кращого розуміння тем
Теми	Наведено у табл.1 і табл. 2
Підсумковий контроль, форма	Іспит в кінці семестру. Форма: усна.
Пререквізити	Для вивчення курсу необхідні знання з електрики і магнетизму, оптики, квантової механіки, атомної фізики, фізики напівпровідників та діелектриків.

Навчальні методи та техніки, які будуть використовуватися під час викладання курсу	Використовуються такі методи навчання: а) *словесні* – лекція, пояснення, бесіда, інструктаж (вступний та поточний) під час виконання лабораторних робіт; б) *наочні* – ілюстрування лекційного матеріалу презентаціями, що включають в себе таблиці, схеми та графіки; в) *практичні* – виконання практичних робіт, що передбачає організацію навчальної роботи для отримання нових знань, перевірки певних наукових гіпотез на рівні досліджень, узагальнень та аналізу та формування вмінь і навичок інтерпретації результатів досліджень різноманітних об'єктів.
Необхідне обладнання	персональний комп'ютер, загальновживані комп'ютерні програми й операційні системи, проєктор
Критерії оцінювання (окремо для кожного виду навчальної діяльності)	Оцінювання проводиться за 100-бальною шкалою. Бали нараховуються за наступним співвідношенням: • практичні роботи: 40% семестрової оцінки; максимальна кількість балів 40 (8 занять по 5 балів); • контрольні заміри (модулі): 10% семестрової оцінки; максимальна кількість балів 10; • іспит: 50% семестрової оцінки. Максимальна кількість балів 50. Підсумкова максимальна кількість балів 100. **Критерії оцінювання практичних робіт:** 5 б. – аспірант повністю виконав завдання і володіє матеріалом на високому рівні; 4 б. – аспірант повністю виконав завдання і володіє матеріалом на достатньо високому рівні; 3 б. – аспірант повністю виконав завдання і володіє матеріалом на задовільному рівні; 2 б. – аспірант частково виконав завдання і володіє матеріалом на задовільному рівні; 1 б. – аспірант частково виконав завдання і тільки частково володіє матеріалом; 0 б. – аспірант не виконав завдання. **Контрольна робота – максимально 10 балів:** Контрольна робота проводиться у формі тестування. У тесті 10 питань по 1 балу кожне. **Іспит – максимально 50 балів:** Іспит проводиться у змішаній формі тестування. У тесті 20 питань по 1 балу кожне. У білеті 3 питання (по 10 балів, кожне). Критерії оцінювання описових питань іспиту: 10 б. – аспірант повністю володіє матеріалом; 7–9 б. – аспірант достатньо володіє матеріалом; 4–6 б. – аспірант частково володіє матеріалом; 1–3 б. – аспірант має базові знання матеріалу; 0 б. – аспірант не володіє матеріалом. Додаткові бали можна отримати за результатами неформального та/або інформального навчання по тематиці даного курсу. Визнання та зарахування результатів такого навчання відбувається у відповідності до наданих документів про неформальне та/або інформальне навчання.

	Додаткові 10 балів можна отримати, наприклад пройшовши онлайн курс «Introduction to Nanotechnology» або подібний курс за тематикою курсу за умови, що загальне число набраних балів не перевищуватиме 100 балів. **Академічна доброчесність**: очікується, що роботи аспірантів будуть їхніми оригінальними дослідженнями чи міркуваннями. Списування, втручання в роботу інших аспірантів, відсутність посилань на використані джерела становлять, але не обмежують, приклади можливої академічної не доброчесності. Виявлення ознак академічної не доброчесності в роботах аспіранта є підставою для її не зарахування викладачем, незалежно від масштабів плагіату чи обману. **Відвідування занять** є важливою складовою навчання. Очікується, що всі аспіранти відвідають усі лекції і практичні заняття курсу. Аспіранти мають інформувати викладача про неможливість відвідати заняття. У будь-якому випадку студенти зобов'язані дотримуватися усіх строків визначених для виконання усіх видів робіт, передбачених курсом. **Література**: уся література, яку аспіранти не зможуть знайти самостійно буде надана викладачем виключно в освітніх цілях без права передавання її третім особам. Аспіранти заохочуються до використання також й іншої літератури та джерел, яких немає серед рекомендованих. **Політика встановлення балів**. Враховуються бали набрані за виконання практичних робіт і самостійну роботу. При цьому враховується присутність на заняттях та активність аспіранта; списування та плагіат; користування мобільними пристроями в цілях не пов'язаних з навчанням; несвоєчасне виконання поставленого завдання. **Жодні форми порушення академічної доброчесності не толеруються**.
Питання до екзамену	1. Нанофізика, нанотехнології та наноматеріали основні поняття і терміни. Застосування наноматеріалів. 2. Вакуумна техніка. Вакуумні насоси. Методи вимірювання тиску розріджених газів. 3. Поняття про квантово-розмірний ефект. Умови спостереження квантово-розмірних ефектів. Характеристичні довжини. Класифікація методів синтезу наноструктур. 4. Енергетичний спектр електронів і густина їхніх квантових станів для 3D структур. Наведіть приклад реалізації 3D структури. 5. Енергетичний спектр електронів і густина їхніх квантових станів для 2D структур. Наведіть приклад реалізації 2D структури. 6. Квантові нитки – енергетичний спектр і густину квантових станів. Наведіть приклад реалізації 1D структури. 7. Квантові точки – енергетичний спектр і густину квантових станів. 8. Механічні фізичні методи синтезу наноструктур. 9. Фізичні методи синтезу наноструктур засновані на випаровуванні. 10. Вакуумне випаровування. Конструкції випарників. 11. Розподіл осаджених вакуумним випаровуванням плівок за товщиною. Апаратура і методи контролю процесу осадження. 12. Катодне розпилення.

	13. Магнетронне розпилення. 14. Іонне розпилення багатокомпонентних матеріалів. 15. Епітаксія тонких плівок з газової фази. Епітаксія і характер межі розділу “плівка-підкладка”. 16. Режими гетероепітаксійного росту. 17. Молекулярно-променева епітаксія. 18. Газофазна епітаксія з металорганічних сполук (МОС гідридна епітаксія). 19. Кристалізація в процесі МОС гідридної епітаксії. Легування в процесі МОС гідридної епітаксії. 20. Рідиннофазна епітаксія. 21. Легування сторонніми домішками в умовах РФЕ. 22. Хімічні методи синтезу наноматеріалів. 23. Колоїди та колоїдні частинки в розчинах. 24. Технологія Ленгмюра – Блоджет. 25. Золь-гель метод синтезу наноматеріалів. 26. Гідро- та сольвотермічний синтез. 27. Сонохімічний і мікрохвильовий синтез. 28. Синтез наноструктур з використанням біоорганізмів. 29. Синтез наноструктур з використанням рослинних екстрактів. 30. Синтез наноструктур з вкористанням білків, ДНК та S-шарів. 31. Просвічувальний електронний мікроскоп. 32. Сканувальний електронний мікроскоп. 33. Зондова мікроскопія.
Опитування	Анкету-оцінку з метою оцінювання якості курсу буде надано по завершенню курсу.

Таблиця 1

Схема курсу **«Нанотехнології і методи візуалізації наноструктур»**

Тиждень	Тема	Форма діяльності та обсяг годин	Література	Термін виконання
1	**Тема 1. Основні поняття і терміни. Історія нанотехнологій. Застосування наноматеріалів.** Вступ. Цілі і завдання курсу. Основні поняття і терміни. Історія нанотехнологій. Застосування наноматеріалів. **С. Р.** Вивчення матеріалу лекції. Основи кристалографії.	Лекції – 2 год, самостійна робота – 1 год	Базова: 2–5; Допоміжна: 1, 2	1 тиждень
2, 3	**Тема 2. Техніка високого вакууму.** Вакуум. Матеріали, які використовують у вакуумних системах. Техніка монтажу вакуумних систем. Конструкція і робочі характеристики вакуумних систем. Виявлення натікання. Вакуумні насоси. Методи вимірювання тиску розріджених газів. **С. Р.** Вивчення матеріалу лекції. Структурні дефекти поверхні.	Лекції – 4 год, самостійна робота – 2 год	Базова: 2; Допоміжна: 3	2 тижні
4	**Тема 3. Основи фізики низько-розмірних об'єктів.** Поняття про квантово-розмірний ефект. Умови спостереження квантово-розмірних ефектів. Характеристичні довжини. Класифікація методів синтезу наноструктур. **С. Р.** Вивчення матеріалу лекції. Самозбірка.	Лекції – 2 год, самостійна робота – 1 год	Базова: 2–5; Допоміжна: 1, 2	1 тиждень
5, 6	**Тема 4. Енергетичний спектр електронів і густина їх квантових станів.** Енергетичний спектр електронів (E(k)) – визначення. Густина енергетичних станів електронів (g(E)) – визначення. E(k) і g(E) у випадку 3D структури (кристал). E(k) і g(E) у випадку квантової ями – 2D наноструктури. E(k) і g(E) у випадку квантової нитки – 1D наноструктури. E(k) і g(E) у	Лекції – 4 год, самостійна робота – 2 год	Базова: 2–5; Допоміжна: 1, 2	2 тижні

	випадку квантових точок – 0D наноструктур. **С. Р.** Вивчення матеріалу лекції. Поняття сорбції та адсорбції.			
7	**Тема 5. Фізичні методи синтезу наноструктур.** Механічні методи синтезу наноструктур: подрібнення; змішування розплавів. Методи, засновані на випаровуванні. **С. Р.** Вивчення матеріалу лекції. Оптично прозорі електропровідні матеріали.	Лекції – 2 год, самостійна робота – 1 год	Базова: 2–5; Допоміжна: 1	1 тиждень
8, 9	**Тема 6 Вакуумне випаровування.** Теорія випаровування. Швидкість випаровування. Розподіл молекул, що випаровуються за напрямками. Конструкції випарників та їхнє використання. Розподіл осаджених плівок за товщиною. Апаратура і методи контролю процесу осадження плівок. **С. Р.** Вивчення матеріалу лекції. Спінтроніка.	Лекції – 4 год, самостійна робота – 2 год	Базова: 2–5; Допоміжна: 1	2 тижні
10	**Тема 7. Механізм розпилення матеріалів під дією іонного бомбардування (іонне розпилення).** Плазма. Тліючий розряд. Катодне (на постійному струмі) і магнетронне розпилення. Аналіз розпилених речовин. Зміни, які відбуваються на поверхні розпилюваного матеріалу. Розпилення багатокомпонентних матеріалів. **С. Р.** Вивчення матеріалу лекції. Особливості люмінесценції наноматеріалів.	Лекції – 2 год, самостійна робота – 1 год	Базова: 2–5; Допоміжна: 1	1 тиждень
11	**Тема 8. Епітаксійні методи отримання тонких плівок.** Епітаксія тонких плівок з газової фази. Епітаксія і характер межі розділу «плівка–підкладка». Режими гетероепітаксійного росту. Епітаксія і фонові домішки. Молекулярно-променева епітаксія (МПЕ). Формування і розподіл поверхнею підкладки	Лекції – 2 год, самостійна робота – 1 год	Базова: 2–5; Допоміжна: 1	1 тиждень

	молекулярних пучків. Ріст плівки у методі МПЕ. **С. Р.** Вивчення матеріалу лекції. Мас-спектрометрія вторинних іонів.			
12	**Тема 9. Газофазна епітаксія з метал-органічних сполук (МОС гідридна епітаксія) та рідиннофазна епітаксія.** МОС гідридна епітаксія і піроліз. Фізичний принцип МОС гідридної епітаксії. Кристалізація в процесі МОС гідридної епітаксії. Легування в процесі МОС гідридної епітаксії. Рідиннофазна епітаксія (РФЕ). Епітаксійне нарощування з рідкої фази і фазні рівноваги. Легування сторонніми домішками в умовах РФЕ. Механізм кристалізації за РФЕ. **С. Р.** Вивчення матеріалу лекції. Дифракція електронів.	Лекції – 2 год, самостійна робота – 1 год	Базова: 2–5; Допоміжна: 1	1 тиждень
13	**Тема 10. Хімічні методи синтезу наноматеріалів.** Колоїди та колоїдні частинки в розчинах. Технологія Ленгмюра – Блоджет. Золь-гель метод. Гідро- та сольвотермічний синтез. Сонохімічний синтез. Мікрохвильовий синтез. **С. Р.** Вивчення матеріалу лекції. Еліпсометрія.	Лекції – 2 год, самостійна робота – 1 год	Базова: 2–5; Допоміжна: 1	1 тиждень
14	**Тема 11. Біологічні методи синтезу наноматеріалів.** Біоматеріали. Синтез з використанням біоорганізмів. Синтез з використанням рослинних екстрактів. Синтез з вкористанням білків, шаблонів з ДНК, S-шарів тощо. Синтез наночастинок з використанням ДНК. **С. Р.** Вивчення матеріалу лекції. Рентгеноструктурний аналіз.	Лекції – 2 год, самостійна робота – 1 год	Базова: 2; Допоміжна: 4–6	1 тиждень
15, 16	**Тема 12. Методи спостереження і дослідження наноструктур.** Просвічувальний електронний мікроскоп. Сканувальний електронний мікроскоп. Зондова мікроскопія.	Лекції – 4 год, самостійна робота – 2 год	Базова: 1–5; Допоміжна: 1	2 тижні

	С. Р. Вивчення матеріалу лекції. Доповнюючі методики отримання зображення наноматеріалів та альтернативні системи аналізу.			

Таблиця 2

Теми практичних занять

Тиждень	Назва теми	Форма діяльності та обсяг годин	Термін виконання
1	Техніка для отримання і вимірювання вакууму. Методи оброблення і очищення поверхонь твердих тіл.	практичне заняття – 2 год, самостійна робота – 4 год	2 тижні
3	Отримання тонких плівок методами термічного випаровування та іонного розпилення.	практичне заняття – 2 год, самостійна робота – 3 год	2 тижні
5	Методи визначення товщини тонких плівок.	практичне заняття – 2 год, самостійна робота – 3 год	2 тижні
7	Гідротермічний синтез наноматеріалів.	практичне заняття – 2 год, самостійна робота – 3 год	2 тижні
9	Характеризація нанооб’єктів методами оптичної спектроскопії.	практичне заняття – 2 год, самостійна робота – 3 год	2 тижні
11	Дослідження кристалічної структури тонких плівок за допомогою електронографа ЭПР-100.	практичне заняття – 2 год, самостійна робота – 3 год	2 тижні
13	Дослідження нанооб’єктів за допомогою растрового електронного мікроскопа-мікроаналізатора РЕММА-102-02.	практичне заняття – 2 год, самостійна робота – 3 год	2 тижні
15	Дослідження нанооб’єктів за допомогою атомно-силового мікроскопа Solver P47-PRO.	практичне заняття – 2 год, самостійна робота – 4 год	2 тижні