

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 29 серпня 2024 р.)

Завідувач кафедри 
Володимир КАПУСТЯНИК

Силабус

**з навчальної дисципліни «Наноматеріали і нанотехнології»,
що викладається в межах ОПШ Нанофізика та наноматеріали
першого (бакалаврського) рівня вищої освіти для здобувачів з
спеціальності 105 «Прикладна фізика та наноматеріали»**

Львів 2024 р.

Назва курсу	Наноматеріали і нанотехнології
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/course/nanomaterialy-i-nanotehnolohiji-prykladna-fizyka
Інформація про курс	Дисципліна «Наноматеріали і нанотехнології» є нормативною дисципліною для підготовки бакалавра за спеціальністю 105 Прикладна фізика та наноматеріали, яка викладається в V семестрі в обсязі 3,5 кредитів (за Європейською Кредитно-Трансферною Системою ECTS).
Коротка анотація курсу	Курс «Наноматеріали і нанотехнології» є курсом зі спеціальності, який є частиною матеріалу, що стосується технології отримання та методів дослідження низькорозмірних об'єктів.
Мета та цілі курсу	Метою вивчення дисципліни «Наноматеріали і нанотехнології» є формування у майбутнього фізика поняття про методи нанотехнологій, що ґрунтуються на класичних та новітніх методиках вирощування об'єктів різної розмірності. Ціль курсу: навчити студентів вирощувати дво- та одномірні об'єкти, самостійно вибирати і обґрунтовувати свій вибір щодо методу мікроскопії для конкретного об'єкта заданої природи у процесі виконання курсових, бакалаврських та магістерських робіт. Освітньою ціллю курсу є формування вміння у студентів самостійно розбиратися і неупереджено орієнтуватися в передових ідеях та найновіших досягненнях сучасної експериментальної фізики; розширення наукового кругозору початківців-дослідників.
Література для вивчення дисципліни	Базова: <ol style="list-style-type: none"> 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,

	<p>Implications and Hands-on Activities – A compendium for educators. – Luxembourg : Publications Office of the European Union, 2012. – 406 p.</p> <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.</p> <p>Допоміжна:</p> <ol style="list-style-type: none"> 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. <p>Додаткові матеріали також буде запропоновано для кожної теми окремо.</p> <p>Інформаційні ресурси:</p> <ol style="list-style-type: none"> 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	105 годин, з яких 64 години аудиторних занять, з них 32 години лекцій, 32 години лабораторних занять, та 41 години самостійної роботи.
Очікувані результати навчання	<p>В результаті вивчення цього курсу здобувач має оволодіти такими компетентностями:</p> <p>Загальні компетентності (ЗК):</p> <p>ЗК 01. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.</p> <p>ЗК 02. Знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності.</p> <p>ЗК 03. Здатність спілкуватися державною мовою як усно, так і письмово.</p> <p>ЗК 05. Навички використання інформаційних і комунікаційних технологій.</p> <p>ЗК 06. Здатність до проведення досліджень на відповідному рівні.</p> <p>ЗК 07. Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел.</p>

	<p>ЗК 10. Навички здійснення безпечної діяльності.</p> <p>Спеціальні (фахові) компетентності (СК):</p> <p>СК 01. Здатність брати участь у плануванні та виконанні наукових та науково-технічних проектів.</p> <p>СК 02. Здатність брати участь у плануванні і виконанні експериментів та лабораторних досліджень властивостей фізичних систем, фізичних явищ і процесів, обробленні й презентації їхніх результатів.</p> <p>СК 05. Здатність до постійного розвитку компетентностей у сфері прикладної фізики, інженерії та комп'ютерних технологій.</p> <p>СК 09. Здатність організувати роботу відповідно до вимог безпеки життєдіяльності й охорони праці.</p> <p>СК 10. Здатність представляти результати досліджень професійній та непрофесійній аудиторії.</p> <p>СК 11. Здатність формувати судження про значення і наслідки своєї професійної діяльності з урахуванням соціальних, екологічних, етичних та правових аспектів.</p> <p>Після засвоєння навчальної дисципліни студенти мають продемонструвати такі програмні результати навчання:</p> <p>ПРН 01. Знати і розуміти сучасну фізику на рівні, достатньому для розв'язання складних спеціалізованих задач і практичних проблем прикладної фізики.</p> <p>ПРН 03. Застосовувати ефективні технології, інструменти та методи експериментального дослідження властивостей речовин і матеріалів, включаючи наноматеріали, при розв'язанні практичних проблем прикладної фізики.</p> <p>ПРН 05. Вибирати ефективні методи та інструментальні засоби проведення досліджень у галузі прикладної фізики.</p> <p>ПРН 06. Відшукувати необхідну науково-технічну інформацію в науковій літературі, електронних базах, інших джерелах, оцінювати надійність та релевантність інформації.</p> <p>ПРН10. Планувати й організувати результативну професійну діяльність індивідуально і як член команди при розробці та реалізації наукових і прикладних проектів.</p> <p>ПРН 11. Знати цілі сталого розвитку та можливості своєї професійної сфери для їх досягнення, в тому числі в Україні.</p> <p>ПРН 12. Розуміти закономірності розвитку прикладної фізики, її місце в розвитку техніки, технологій і суспільства, у тому числі в розв'язанні екологічних проблем.</p> <p>ПРН 14. Дотримуватися вимог безпеки життєдіяльності й охорони праці.</p> <p>ПРН 15. Вміння розпізнавати методи синтезу наноматеріалів, встановлювати їх фізико-хімічні властивості, вплив на навколишнє середовище та людину.</p> <p>ПРН 16. Дотримуватися морально-етичних аспектів досліджень, інтелектуальної та академічної чесності, професійного кодексу поведінки.</p>
Ключові слова	Наноматеріали, нанотехнології, нанофізика, електронна та зондова мікроскопія.
Формат курсу	Очний

Теми	Наведено у табл.1 і табл. 2
Підсумковий контроль, форма	іспит в кінці семестру.
Пререквізити	Для вивчення курсу необхідні знання з електрики і магнетизму, молекулярної фізики, оптики, атомної фізики.
Навчальні методи та техніки, які будуть використовуватися під час викладання курсу	Використовуються такі методи навчання: а) <i>словесні</i> – лекція, пояснення, бесіда; б) <i>наочні</i> – ілюстрування лекційного матеріалу презентаціями, що включають в себе таблиці, схеми та графіки; в) <i>лабораторні роботи</i> – виконання лабораторних робіт, що передбачає організацію навчальної роботи для отримання нових знань та формування вмінь і практичних навичок.
Необхідне обладнання	персональний комп'ютер, загальноживані комп'ютерні програми й операційні системи, проектор, растровий електронний мікроскоп PEMMA-102-02, атомно-силовий мікроскоп Solver PRO47, спектрометр AvaSpec-ULS2048L-USB2-UA-RS, компактне збалансоване галогенно-дейтерієве джерело світла Avantes AvaLight-DHc, вакуумні універсальні пости ВУП-5М, установка височастотного магнетронного розпилення УРМ-3, ультразвукова ванна ПСБ-1335-05М, лабораторний дводисковий шліфувально-полірувальний станок Vainpol VTD 10", вага аналітична WAA-210, електропіч SNOL 0,2/1250, термостат БВ-20-4, кварцовий вимірювач товщини плівок.
Критерії оцінювання (окремо для кожного виду навчальної діяльності)	Оцінювання проводиться за 100-бальною шкалою. Бали нараховуються за наступним співвідношенням: <ul style="list-style-type: none"> • лабораторні роботи: 40% семестрової оцінки; максимальна кількість балів 40; • 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 лабораторних робіт: лабораторні роботи №1 та №2: 5 б. – студент повністю виконав завдання і володіє матеріалом на високому рівні; 4 б. – студент повністю виконав завдання і володіє матеріалом на достатньо високому рівні; 3 б. – студент повністю виконав завдання і володіє матеріалом на задовільному рівні; 2 б. – студент частково виконав завдання і володіє матеріалом на задовільному рівні; 1 б. – студент частково виконав завдання і тільки частково володіє матеріалом; 0 б. – студент не виконав завдання. лабораторні роботи №3–12: 3 б. – студент повністю виконав завдання і володіє матеріалом на високому рівні; 2,5 б. – студент повністю виконав завдання і володіє матеріалом на достатньо високому рівні; 2 б. – студент повністю виконав завдання і володіє матеріалом на

задовільному рівні;

1 б. – студент частково виконав завдання і володіє матеріалом на задовільному рівні;

0,5 б. – студент частково виконав завдання і тільки частково володіє матеріалом;

0 б. – студент не виконав завдання.

Контрольна робота – максимально 10 балів:

Контрольна робота проводиться у формі: тестування та усна відповідь на питання. 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. – студент повністю володіє матеріалом;

7–9 б. – студент достатньо володіє матеріалом;

4–6 б. – студент частково володіє матеріалом;

1–3 б. – студент має базові знання матеріалу;

0 б. – студент 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. Додаткові 10 балів студент також може отримати за публікацію статті або особисту участь у науковій конференції за тематикою курсу за умови, що загальне число набраних балів не перевищуватиме 100 балів.

Академічна доброчесність здобувачами вищої освіти передбачає самостійне виконання навчальних завдань, завдань поточного та підсумкового контролю результатів навчання. Списування, втручання в роботу інших студентів становлять, але не обмежують, приклади можливої академічної недоброчесності. Виявлення ознак академічної недоброчесності в письмовій чи усній роботі студента є підставою для її незарахування викладачем, незалежно від масштабів обману.

Відвідання занять є важливою складовою навчання. Очікується, що всі студенти відвідають усі лекції і практичні заняття курсу. Студенти 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. Усю література, яку студенти не зможуть знайти самостійно, буде надано викладачами виключно в освітніх цілях без права її передавання третім особам. Студенти заохочуються до використання також й іншої літератури та джерел, яких немає серед рекомендованих.

Політика виставлення балів. Враховуються бали, набрані на лабораторних та поточному тестуванні. При цьому обов'язково враховуються присутність на заняттях та активність студента під час заняття; недопустимість пропусків та запізнь на заняття; користування

	<p>мобільним телефоном, планшетом чи іншими мобільними пристроями під час заняття в цілях, не пов'язаних із навчанням; списування та плагіат; несвоєчасне виконання поставленого завдання і т. ін.</p> <p>Жодні форми академічної недоброчесності не толеруються.</p>
Питання до екзамену	<ol style="list-style-type: none"> 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 використанням білків, ДНК та S-шарів. 31. Просвічувальний електронний мікроскоп. 32. Сканувальний електронний мікроскоп. 33. Зондова мікроскопія.
Опитування	<p>Анкету-оцінку з метою оцінювання якості курсу буде надано по завершенню курсу.</p>

Схема курсу «Наноматеріали і нанотехнології»

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 – 2,5 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 – 5,25 год	Базова: 2; Допоміжна: 3	2 тижні
4	Тема 3. Основи фізики низькорозмірних 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 – 2,5 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 – 5,25 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 – 2,5 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 – 5,25 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 – 2,5 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 – 2,5 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 – 2,5 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. Гідрота сольвотермічний синтез. Сонохімічний синтез. Мікрохвильовий синтез. С. Р. Вивчення матеріалу лекції. Еліпсометрія.	Лекції – 2 год, 2,5 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 використанням білків, шаблонів з ДНК, S-шарів тощо. Синтез наночастинок з використанням ДНК. С. Р. Вивчення матеріалу лекції. Рентгеноструктурний аналіз.	Лекції – 2 год, 2,5 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 – 5,25 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 лабораторних занять

Тиждень	Назва теми	Форма діяльності та обсяг годин	Термін виконання
1	Вступне заняття.	лаб. робота – 2 год	1 тиждень
2, 3	Техніка для отримання і вимірювання вакууму.	лаб. робота – 4 год	2 тижні
4, 5	Методи приготування та очищення поверхонь підкладок від забруднень.	лаб. робота – 4 год	2 тижні
6	Контактна фотолітографія.	лаб. робота – 2 год	1 тиждень
7	Термічне вакуумне випаровування.	лаб. робота – 2 год	1 тиждень
8	Магнетронне розпилення.	лаб. робота – 2 год	1 тиждень
9	Високочастотне магнетронне та високочастотне магнетронне реактивне розпилення.	лаб. робота – 2 год	1 тиждень
10	Отримання нано-/мікроструктур ZnO з парової фази.	лаб. робота – 2 год	1 тиждень
11	Хімічні методи отримання наноструктур ZnO та наночастинок срібла.	лаб. робота – 2 год	1 тиждень
12	Вивчення явища супергідрофобного/супергідрофільного перемикання на поверхні мікроструктур ZnO, викликаного ультрафіолетовим опроміненням і травленням іонами аргону.	лаб. робота – 2 год	1 тиждень
13	Принцип роботи та застосування растрового електронного мікроскопа.	лаб. робота – 2 год	1 тиждень
14	Будова та умови експлуатації мікроскопа СЗМ Solver P47.	лаб. робота – 2 год	1 тиждень
15	Фотодеградація органічних речовин на поверхні низько розмірних матеріалів на основі ZnO як метод очищення води від забруднень.	лаб. робота – 2 год	1 тиждень
16	Заключне заняття.	лаб. робота – 2 год	1 тиждень