

**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 2022 р.)

Завідувач кафедри  проф. Капустяник В. Б.

**Силабус**

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

**Львів 2022 р.**

<b>Назва дисципліни</b>	<b>Наноматеріали і нанотехнології</b>
<b>Адреса викладання дисципліни</b>	вул. Драгоманова, 50, 79005, м. Львів
<b>Факультет та кафедра, за якою закріплена дисципліна</b>	фізичний факультет, кафедра фізики твердого тіла
<b>Галузь знань, шифр та назва спеціальності</b>	10 Природничі науки / 105 Прикладна фізика та наноматеріали
<b>Викладачі курсу</b>	доцент кафедри фізики твердого тіла, к. ф.-м. н. Турко Борис Ігорович
<b>Контактна інформація викладачів</b>	<a href="mailto:borys.turko@lnu.edu.ua">borys.turko@lnu.edu.ua</a> <a href="https://physics.lnu.edu.ua/employee/turko-b-i">https://physics.lnu.edu.ua/employee/turko-b-i</a>
<b>Консультації по дисципліні відбуваються</b>	Консультації в день проведення лекцій та практичних занять (за попередньою домовленістю). Також можливі консультації через електронну пошту або он-лайн засобами Microsoft Teams, Skype.
<b>Сторінка дисципліни</b>	<a href="https://physics.lnu.edu.ua/course/nanomaterialy-i-nanotehnolohiji-prykladna-fizyka">https://physics.lnu.edu.ua/course/nanomaterialy-i-nanotehnolohiji-prykladna-fizyka</a>
<b>Інформація про дисципліну</b>	Дисципліна «Наноматеріали і нанотехнології» є нормативною дисципліною для підготовки бакалавра за спеціальністю 105 «Прикладна фізика та наноматеріали», яка викладається в VI семестрі в обсязі 3 кредитів (за Європейською Кредитно-Трансферною Системою ECTS).
<b>Коротка анотація дисципліни</b>	Дисципліна «Наноматеріали і нанотехнології» є наступною частиною матеріалу, що стосується технології отримання та методів дослідження низькорозмірних об'єктів.
<b>Мета та цілі дисципліни</b>	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.
<b>Література для вивчення дисципліни</b>	<b>Базова:</b> 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 «КІП», 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. <b>Допоміжна:</b> 1. Заячук Д. М. Низькорозмірні структури і надґратки: Навч. посібник. – Львів : В-во «Львівська політехніка», 2006. – 220 с.

	<p>2. Фізична наноелектроніка: навчальний посібник / В. С. Осадчук, О. В. Осадчук. – Вінниця : ВНТУ, 2015. – 146 с.</p> <p>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.</p> <p>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.</p> <p>5. Roy A. Biological Synthesis of Nanocatalysts and Their Applications / A. Roy, A. Elzaki , V. Tirth [et al.] // Catalysts. – 2021. – V. 11. – P. 1494.</p> <p>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> <p>Додаткові матеріали також буде запропоновано для кожної теми окремо.</p> <p><b>Інформаційні ресурси:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. <a href="https://physics.lnu.edu.ua/jps/">https://physics.lnu.edu.ua/jps/</a></li> <li>2. <a href="https://physics.lnu.edu.ua/research/publications/our-publisher">https://physics.lnu.edu.ua/research/publications/our-publisher</a></li> <li>3. <a href="https://www.journals.elsevier.com/nano-today">https://www.journals.elsevier.com/nano-today</a></li> </ol>
<b>Тривалість курсу</b>	один семестр
<b>Обсяг курсу</b>	90 годин, з яких 64 години аудиторних занять, з них 32 години лекцій, 32 години лабораторних занять, та 26 годин самостійної роботи.
<b>Очікувані результати навчання</b>	<p>В результаті вивчення цього курсу здобувач має оволодіти такими компетентностями:</p> <p><b>Загальні компетентності (ЗК):</b></p> <p>ЗК01. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.</p> <p>ЗК02. Знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності.</p> <p>ЗК03. Здатність спілкуватися державною мовою як усно, так і письмово.</p> <p>ЗК05. Навички використання інформаційних і комунікаційних технологій.</p> <p>ЗК06. Здатність до проведення досліджень на відповідному рівні.</p> <p>ЗК07. Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел.</p> <p>ЗК08. Навички міжособистісної взаємодії.</p> <p>ЗК09. Здатність працювати автономно.</p> <p>ЗК10. Навички здійснення безпечної діяльності.</p> <p>ЗК12. Здатність зберігати та примножувати моральні, культурні, наукові цінності і досягнення суспільства на основі розуміння історії та закономірностей розвитку предметної області, її місця у загальній системі знань про природу і суспільство та у розвитку суспільства, техніки і технологій, використовувати різні види та форми рухової активності для активного відпочинку та ведення здорового способу життя.</p> <p><b>Спеціальні (фахові) компетентності (СК):</b></p> <p>СК01. Здатність брати участь у плануванні та виконанні наукових та науково-технічних проектів.</p> <p>СК02. Здатність брати участь у плануванні і виконанні експериментів</p>

	<p>та лабораторних досліджень властивостей фізичних систем, фізичних явищ і процесів, обробленні й презентації їхніх результатів.</p> <p>СК03. Здатність брати участь у виготовленні експериментальних зразків, інших об'єктів дослідження.</p> <p>СК05. Здатність до постійного розвитку компетентностей у сфері прикладної фізики, інженерії та комп'ютерних технологій.</p> <p>СК06. Здатність використовувати сучасні теоретичні уявлення в галузі фізики для аналізу фізичних систем.</p> <p>СК07. Здатність використовувати методи і засоби теоретичного дослідження та математичного моделювання в професійній діяльності.</p> <p>СК09. Здатність організувати роботу відповідно до вимог безпеки життєдіяльності й охорони праці.</p> <p>СК10. Здатність представляти результати досліджень професійній та непрофесійній аудиторії.</p> <p>СК11. 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 <b>програмні результати навчання</b>:</p> <p>РН01. Знати і розуміти сучасну фізику на рівні, достатньому для розв'язання складних спеціалізованих задач і практичних проблем прикладної фізики.</p> <p>РН03. Застосовувати ефективні технології, інструменти та методи експериментального дослідження властивостей речовин і матеріалів, включаючи наноматеріали, при розв'язанні практичних проблем прикладної фізики.</p> <p>РН04. Застосовувати фізичні, математичні та комп'ютерні моделі для дослідження фізичних явищ, розробки приладів і наукоємних технологій.</p> <p>РН05. Вибирати ефективні методи та інструментальні засоби проведення досліджень у галузі прикладної фізики.</p> <p>РН06. Відшукувати необхідну науково-технічну інформацію в науковій літературі, електронних базах, інших джерелах, оцінювати надійність та релевантність інформації.</p> <p>РН07. Класифікувати, аналізувати та інтерпретувати науково-технічну інформацію в галузі прикладної фізики.</p> <p>РН10. Планувати й організувати результативну професійну діяльність індивідуально і як член команди при розробці та реалізації наукових і прикладних проєктів.</p> <p>РН12. Розуміти закономірності розвитку прикладної фізики, її місце в розвитку техніки, технологій і суспільства, у тому числі в розв'язанні екологічних проблем.</p> <p>РН13. Вміння оцінювати фінансові, матеріальні та інші витрати, пов'язані з реалізацією проєктів у сфері прикладної фізики, соціальні, екологічні та інші потенційні наслідки реалізації проєктів.</p> <p>РН15. Вміння розпізнавати методи синтезу наноматеріалів, встановлювати їх фізико-хімічні властивості, вплив на навколишнє середовище та людину.</p>
<b>Ключові слова</b>	Наноматеріали, нанотехнології, нанофізика, електронна та зондова мікроскопія.
<b>Формат курсу</b>	Очний
	проведення лекцій, лабораторних занять і консультації для кращого розуміння тем

<b>Теми</b>	Наведено у табл.1 і табл. 2
<b>Підсумковий контроль, форма</b>	Підсумковий контроль: іспит в кінці семестру. Форма: усна.
<b>Пререквізити</b>	Для вивчення курсу необхідні знання з електрики і магнетизму, молекулярної фізики, оптики, атомної фізики, фізики і техніки низьких температур.
<b>Навчальні методи та техніки, які будуть використовуватися під час викладання курсу</b>	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.
<b>Необхідне обладнання</b>	персональний комп'ютер, загальнонавчальні комп'ютерні програми й операційні системи, проектор
<b>Критерії оцінювання (окремо для кожного виду навчальної діяльності)</b>	Оцінювання проводиться за 100-бальною шкалою. Бали нараховуються за наступним співвідношенням: <ul style="list-style-type: none"> <li>• лабораторні роботи: 30% семестрової оцінки; максимальна кількість балів 30;</li> <li>• контрольні заміри (модулі): 20% семестрової оцінки; максимальна кількість балів 20;</li> <li>• іспит: 50% семестрової оцінки. Максимальна кількість балів 50.</li> </ul> Підсумкова максимальна кількість балів 100. <b>Академічна доброчесність</b> 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. <b>Відвідання занять</b> 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. <b>Література.</b> 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. <b>Політика виставлення балів.</b> 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 запізнень на заняття; користування 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. Жодні форми академічної недоброчесності не толеруються.
<b>Питання до екзамену</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Нанофізика, нанотехнології та наноматеріали основні поняття і терміни. Застосування наноматеріалів.</li> <li>2. Вакуумна техніка. Вакуумні насоси. Методи вимірювання тиску розріджених газів.</li> <li>3. Поняття про квантово-розмірний ефект. Умови спостереження квантово-розмірних ефектів. Характеристичні довжини.</li> </ol>

	<p>Класифікація методів синтезу наноструктур.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>4. Енергетичний спектр електронів і густина їхніх квантових станів для 3D структур. Наведіть приклад реалізації 3D структури.</li> <li>5. Енергетичний спектр електронів і густина їхніх квантових станів для 2D структур. Наведіть приклад реалізації 2D структури.</li> <li>6. Квантові нитки – енергетичний спектр і густину квантових станів. Наведіть приклад реалізації 1D структури.</li> <li>7. Квантові точки – енергетичний спектр і густину квантових станів.</li> <li>8. Механічні фізичні методи синтезу наноструктур.</li> <li>9. Фізичні методи синтезу наноструктур засновані на випаровуванні.</li> <li>10. Вакуумне випаровування. Конструкції випарників.</li> <li>11. Розподіл осаджених вакуумним випаровуванням плівок за товщиною. Апаратура і методи контролю процесу осадження.</li> <li>12. Катодне розпилення.</li> <li>13. Магнетронне розпилення.</li> <li>14. Іонне розпилення багатокomпонентних матеріалів.</li> <li>15. Епітаксія тонких плівок з газової фази. Епітаксія і характер межі розділу “плівка-підкладка”.</li> <li>16. Режими гетероепітаксійного росту.</li> <li>17. Молекулярно-променева епітаксія.</li> <li>18. Газофазна епітаксія з металорганічних сполук (МОС гідридна епітаксія).</li> <li>19. Кристалізація в процесі МОС гідридної епітаксії. Легування в процесі МОС гідридної епітаксії.</li> <li>20. Рідиннофазна епітаксія.</li> <li>21. Легування сторонніми домішками в умовах РФЕ.</li> <li>22. Хімічні методи синтезу наноматеріалів.</li> <li>23. Колоїди та колоїдні частинки в розчинах.</li> <li>24. Технологія Ленгмюра – Блоджет.</li> <li>25. Золь-гель метод синтезу наноматеріалів.</li> <li>26. Гідро- та сольвотермічний синтез.</li> <li>27. Сонохімічний і мікрохвильовий синтез.</li> <li>28. Синтез наноструктур з використанням біоорганізмів.</li> <li>29. Синтез наноструктур з використанням рослинних екстрактів.</li> <li>30. Синтез наноструктур з використанням білків, ДНК та S-шарів.</li> <li>31. Просвічувальний електронний мікроскоп.</li> <li>32. Сканувальний електронний мікроскоп.</li> <li>33. Зондова мікроскопія.</li> </ol>
<b>Опитування</b>	Анкету-оцінку з метою оцінювання якості курсу буде надано по завершенню курсу.

Таблиця 1

## Схема курсу «Наноматеріали і нанотехнології»

Тиж-день	Тема	Форма діяльності та обсяг годин	Література	Термін виконання
1	<p><b>Тема 1. Основні поняття і терміни. Історія нанотехнологій. Застосування наноматеріалів.</b></p> <p>Вступ. Цілі і завдання курсу. Основні поняття і терміни. Історія нанотехнологій. Застосування наноматеріалів.</p> <p><b>С. Р.</b> Вивчення матеріалу лекції. Основи кристалографії.</p>	<p>Лекції – 2 год,</p> <p>самостійна робота – 2 год</p>	<p>Базова: 2–5;</p> <p>Допоміжна: 1, 2</p>	1 тиждень

2, 3	<p><b>Тема 2. Техніка високого вакууму.</b> 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.</p>	Лекції – 4 год, самостійна робота – 3 год	Базова: 2; Допоміжна: 3	2 тижні
4	<p><b>Тема 3. Основи фізики низько-розмірних об'єктів.</b> Поняття про квантово-розмірний ефект. Умови спостереження квантово-розмірних ефектів. Характеристичні довжини. Класифікація методів синтезу наноструктур. С. Р. Вивчення матеріалу лекції. Самозбірка.</p>	Лекції – 2 год, самостійна робота – 2 год	Базова: 2–5; Допоміжна: 1, 2	1 тиждень
5, 6	<p><b>Тема 4. Енергетичний спектр електронів і густина їх квантових станів.</b> Енергетичний спектр електронів (<math>E(k)</math>) – визначення. Густина енергетичних станів електронів (<math>g(E)</math>) – визначення. <math>E(k)</math> і <math>g(E)</math> у випадку 3D структури (кристал). <math>E(k)</math> і <math>g(E)</math> у випадку квантової ями – 2D наноструктури. <math>E(k)</math> і <math>g(E)</math> у випадку квантової нитки – 1D наноструктури. <math>E(k)</math> і <math>g(E)</math> у випадку квантових точок – 0D наноструктур. С. Р. Вивчення матеріалу лекції. Поняття сорбції та адсорбції.</p>	Лекції – 4 год, самостійна робота – 3 год	Базова: 2–5; Допоміжна: 1, 2	2 тижні
7	<p><b>Тема 5. Фізичні методи синтезу наноструктур.</b> Механічні методи синтезу наноструктур: подрібнення; змішування розплавів. Методи, засновані на випаровуванні. С. Р. Вивчення матеріалу лекції. Оптично прозорі електропровідні матеріали.</p>	Лекції – 2 год, самостійна робота – 2 год	Базова: 2–5; Допоміжна: 1	1 тиждень
8, 9	<p><b>Тема 6 Вакуумне випаровування.</b> 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.</p>	Лекції – 4 год, самостійна робота – 3 год	Базова: 2–5; Допоміжна: 1	2 тижні
10	<p><b>Тема 7. Механізм розпилення матеріалів під дією іонного бомбардування (іонне розпилення).</b></p>	Лекції – 2 год, самостійна робота – 2 год	Базова: 2–5; Допоміжна: 1	1 тиждень

	Плазма. Тліючий розряд. Катодне (на постійному струмі) і магнетронне розпилення. Аналіз розпилених речовин. Зміни, які відбуваються на поверхні розпилюваного матеріалу. Розпилення багатокомпонентних матеріалів. <b>С. Р.</b> Вивчення матеріалу лекції. Особливості люмінесценції наноматеріалів.			
11	<b>Тема 8. Епітаксійні методи отримання тонких плівок.</b> 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 молекулярних пучків. Ріст плівки у методі МПЕ. <b>С. Р.</b> Вивчення матеріалу лекції. Мас-спектрометрія вторинних іонів.	Лекції – 2 год, самостійна робота – 2 год	Базова: 2–5; Допоміжна: 1	1 тиждень
12	<b>Тема 9. Газофазна епітаксія з метал-органічних сполук (МОС гідридна епітаксія) та рідиннофазна епітаксія.</b> 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. <b>С. Р.</b> Вивчення матеріалу лекції. Дифракція електронів.	Лекції – 2 год, самостійна робота – 1 год	Базова: 2–5; Допоміжна: 1	1 тиждень
13	<b>Тема 10. Хімічні методи синтезу наноматеріалів.</b> Колоїди та колоїдні частинки в розчинах. Технологія Ленгмюра – Блоджет. Зольгель метод. Гідро- та сольвотермічний синтез. Сонохімічний синтез. Мікрохвильовий синтез. <b>С. Р.</b> Вивчення матеріалу лекції. Еліпсометрія.	Лекції – 2 год, самостійна робота – 1 год	Базова: 2–5; Допоміжна: 1	1 тиждень
14	<b>Тема 11. Біологічні методи синтезу наноматеріалів.</b> 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. <b>С. Р.</b> Вивчення матеріалу лекції. Рентгеноструктурний аналіз.	Лекції – 2 год, самостійна робота – 2 год	Базова: 2; Допоміжна: 4–6	1 тиждень



15, 16	<b>Тема 12. Методи спостереження і дослідження наноструктур.</b> Просвічувальний електронний мікроскоп. Сканувальний електронний мікроскоп. Зондова мікроскопія. <b>С. Р.</b> Вивчення матеріалу лекції. Доповнюючі методики отримання зображення наноматеріалів та альтернативні системи аналізу.	Лекції – 4 год, самостійна робота – 3 год	Базова: 1–5; Допоміжна: 1	2 тижні
--------	---	--	---------------------------------	---------

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	Заклучне заняття.	лаб. робота – 2 год	1 тиждень