

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 _____



**Силабус з навчальної дисципліни «Фізика нанорозмірних об'єктів»,
що викладається в межах ОПШ Нанофізика та наноматеріали
першого рівня вищої освіти для здобувачів
зі спеціальності 105 «Прикладна фізика та наноматеріали»**

**Силабус курсу «Фізика нанорозмірних об'єктів»
2022–2023 н.р.**

Назва курсу	Фізика нанорозмірних об'єктів
Адреса викладання курсу	вул. Кирила і Мефодія 8, 79005 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	Лекції проводить доцент кафедри фізики твердого тіла, к.ф.-м.н. Коваленко Марія Василівна, Лабораторні роботи проводить кафедри фізики твердого тіла, к.ф.-м.н. Турко Борис Ігорович
Контактна інформація викладачів	mariya.kovalenko@lnu.edu.ua https://physics.lnu.edu.ua/employee/kovalenko-m-v borys.turko@lnu.edu.ua https://physics.lnu.edu.ua/employee/turko-b-i
Консультації по курсу відбуваються	Консультації в день проведення лекцій та лабораторних занять (за попередньою домовленістю). Також можливі он-лайн консультації через електронну пошту та на платформі Microsoft Teams. Для погодження часу он-лайн консультацій слід написати на електронну пошту викладача або в чат Microsoft Teams
Сторінка курсу	https://physics.lnu.edu.ua/course/fizyka-nanorozmirnyh-objektiv-prykladna-fizyka
Інформація про курс	Дисципліна «Фізика нанорозмірних об'єктів» є нормативною дисципліною зі спеціальності 105 Прикладна фізика та наноматеріали для першого (бакалаврського) рівня вищої освіти, яка викладається у 8 семестрі в обсязі 3 кредитів (за Європейською Кредитно-Трансферною Системою ECTS).
Коротка анотація курсу	В рамках курсу на основі порівняння загальних закономірностей внутрішньої будови, властивостей та фізичних закономірностей визначаються основні фактори, що обумовлюють особливість нанорозмірного стану. На основі цього проводиться подальший розвиток теоретичних та практичних засад для вивчення різних властивостей матеріалів з акцентуванням на наноструктурований стан. Розглядаються сучасні експериментальні результати та уявлення про кристалічну будову твердих наноматеріалів, розглядаються їх особливості механічних, теплових, електронних, електричних, магнітних та оптичних властивостей твердих тіл.
Мета та цілі курсу	В рамках курсу розглядаються сучасні підходи експериментального дослідження і теоретичного опису атомної і електронної структури та спектру властивостей низькорозмірних структур. Мета вивчення дисципліни – ознайомити студентів з сучасними досягненнями в області фізики наноструктур, а саме в дослідженні структури та властивостей низькорозмірних структур. Цілі курсу: розглянути основні види наноструктур, способи їх отримання та методи дослідження, структурні, механічні, оптичні, теплові, електронні, магнітні властивості різних типів наноструктур та їхнє практичне застосування у вигляді наноматеріалів та технічних

	пристроїв, що покладаються в основу нанотехнологій.
Література для вивчення дисципліни	<p>Базова:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Погосов В.В. Нанофізика і нанотехнології / В.В. Погосов, Ю.А. Куницький, А.В. Бабіч, А.В. Коротун, А.П. Шпак. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2011. – 380 с. 2. Осадчук В. С. Основи наноелектроніки : Навчальний посібник / Осадчук, О. В. Осадчук. – Вінниця : ВНТУ, 2016. – 199 с. 3. Поплавко Ю. М. Нанофізика, наноматеріали, наноелектроніка: навч. посіб. / Ю. М. Поплавко, О. В. Борисов, Ю. І. Якименко – К.: НТУУ «КПІ», 2012. – 300 с 4. Заячук Д.М. Низькорозмірні структури і надгратки / Д.М. Заячук. – НУ „Львівська політехніка”, 2006. – 220 с. 5. P. Harris, Carbon Nanotubes and Related Structures, Cambridge University Press, 2010.-283 с. <p>Допоміжна:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Готра З.Ю. Субмікронні та нанорозмірні структури електроніки: підручник / З.Ю. Готра, І.І. Григорчак, Б. А. Лукіянець, В. П. Махній, С. В. Павлов. – Чернів. нац. ун-т ім. Ю. Федьковича; за ред. З. Ю. Готра.– Чернівці : Технологічний Центр, 2014.– 838 с. 2. Шпак А.П. Квантові низькорозмірні системи / А.П. Шпак, Ю.А. Куницький, О.О. Коротченков, С.Ю. Смик. – К.: Академперіодика, 2003. – 310 с. 3. Wolf E.L. Nanophysics and Nanotechnology. An Introduction to Modern Concepts in Nanoscience / E.L. Wolf – Weinheim: WILEY-VCH, 2nd Edition, 2008. – 293 p. 4. Погосов В.В. Елементи фізики поверхні, наноструктур і технологій / В.В. Погосов, Ю.А. Куницький, А.В. Бабіч, А.В. Коротун. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2010. – 365 с. 5. Азаренков М. О. Наноматеріали і нанотехнології: навчальний посібник / М. О. Азаренков, І. М. Неклюдов, В. М. Береснев, В. М. Воєводін, О. Д. Погребняк, Г. П. Ковтун, О. В. Соболь, В. Г. Удовицький, С. В. Литовченко, П. В. Турбін, В. О. Чишкала. – Х.: ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2014. – 316 с. 6. Тузяк О.Я. Основи електронної та зондової мікроскопії: навч. посібник / О.Я. Тузяк, В.Ю. Курляк. – Львів : ЛНУ імені Івана Франка, 2012. -296 с. <p>Інформаційні ресурси:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. www.nanohub.org 2. www.znannya.org 3. http://nauka.name/ 4. www.skybox.net.ua 5. www.nbu.gov.ua/portal/natural/nano/
Тривалість курсу	один семестр
Обсяг курсу	90 годин, з яких 64 годин аудиторних занять, з них 32 годин лекцій, 32 годин лабораторних занять, та 26 години самостійної роботи
Очікувані результати навчання	В результаті вивчення цього курсу студенти мають оволодіти такими компетентностями: Загальні компетентності (ЗК): ЗК 1. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях. ЗК 2. Знання та розуміння предметної області та розуміння професійної

діяльності.

ЗК 3. Здатність спілкуватися державною мовою як усно, так і письмово.

ЗК 6. Здатність до проведення досліджень на відповідному рівні.

ЗК 7. Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел.

ЗК 10. Навички здійснення безпечної діяльності.

ЗК 12. 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.

Спеціальні (фахові) компетентності (СК):

СК 1. Здатність брати участь у плануванні та виконанні наукових та науково-технічних проєктів.

СК 2. Здатність брати участь у плануванні і виконанні експериментів та лабораторних досліджень властивостей фізичних систем, фізичних явищ і процесів, обробленні й презентації їхніх результатів.

СК 3. Здатність брати участь у виготовленні експериментальних зразків, інших об'єктів дослідження.

СК 5. Здатність до постійного розвитку компетентностей у сфері прикладної фізики, інженерії та комп'ютерних технологій.

СК 9. Здатність організувати роботу відповідно до вимог безпеки життєдіяльності й охорони праці.

Після засвоєння навчальної дисципліни студенти мають продемонструвати такі **програмні результати навчання**:

Р01. Знати і розуміти сучасну фізику на рівні, достатньому для розв'язання складних спеціалізованих задач і практичних проблем прикладної фізики.

Р02. Застосовувати сучасні математичні методи для побудови й аналізу математичних моделей фізичних процесів.

Р03. Застосовувати ефективні технології, інструменти та методи експериментального дослідження властивостей речовин і матеріалів, включаючи наноматеріали, при розв'язанні практичних проблем прикладної фізики.

Р04. Застосовувати фізичні, математичні та комп'ютерні моделі для дослідження фізичних явищ, розробки приладів і наукоємних технологій.

Р05. Вибирати ефективні методи та інструментальні засоби проведення досліджень у галузі прикладної фізики.

Р06. Відшуковувати необхідну науково-технічну інформацію в науковій літературі, електронних базах, інших джерелах, оцінювати надійність та релевантність інформації.

Р07. Класифікувати, аналізувати та інтерпретувати науково технічну інформацію в галузі прикладної фізики.

Р10. Планувати й організувати результативну професійну діяльність індивідуально і як член команди при розробці та реалізації наукових і прикладних проєктів.

	<p>P11. Знати цілі сталого розвитку та можливості своєї професійної сфери для їх досягнення, в тому числі в Україні.</p> <p>P12. Розуміти закономірності розвитку прикладної фізики, її місце в розвитку техніки, технологій і суспільства, у тому числі в розв'язанні екологічних проблем.</p> <p>P13. Вміння оцінювати фінансові, матеріальні та інші витрати, пов'язані з реалізацією проектів у сфері прикладної фізики, соціальні, екологічні та інші потенційні наслідки реалізації проектів.</p> <p>P14. Дотримуватися вимог безпеки життєдіяльності й охорони праці.</p> <p>P15. Вміння розпізнавати методи синтезу наноматеріалів, встановлювати їх фізико-хімічні властивості, вплив на навколишнє середовище та людину.</p> <p>P16. Дотримуватись морально-етичних аспектів досліджень, інтелектуальної чесності, професійного кодексу поведінки.</p> <p>P17. Розуміти основні принципи здорового способу життя та вміти застосовувати їх для підтримки власного здоров'я та працездатності.</p>
Ключові слова	Наноструктури, методи дослідження наноструктур, оптичні властивості, електронний спектр, магнітні властивості, вуглецеві наноструктури.
Формат курсу	Очний
	проведення лекцій, лабораторних робіт та консультації для кращого розуміння тем
Теми	Наведено у табл.1 і табл. 2
Підсумковий контроль, форма	залік в кінці семестру сума балів отриманих протягом семестру для кожного виду навчальної діяльності (детально описано в п. Критерії оцінювання)
Пререквізити	Для вивчення дисципліни необхідні знання одержані при вивченні загальних та спеціальних дисциплін спеціальності, насамперед “Атомної фізики”, “Теоретичної механіки”, “Квантової механіки”, “Фізики низьких температур”, “Мікроскопії нанорозмірних об'єктів”.
Навчальні методи та техніки, які будуть використовуватися під час викладання курсу	Використовуються такі методи навчання: а) <i>словесні</i> – лекція, пояснення, бесіда, інструктаж (вступний та поточний) під час виконання лабораторних робіт; б) <i>наочні</i> – ілюстрування лекційного матеріалу презентаціями, що включають в себе таблиці, схеми та графіки; в) <i>лабораторні</i> – виконання лабораторних 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, операційні системи (Windows, Linux), загальноживані комп'ютерні програми, проектор
Критерії оцінювання (окремо для кожного виду навчальної діяльності)	Оцінювання проводиться за 100-бальною шкалою. Бали нараховуються за наступним співвідношенням: • поточне тестування: 30% семестрової оцінки, максимальна кількість балів 30; • презентації: 20% семестрової оцінки, максимальна кількість балів 20; • лабораторні роботи: 50% семестрової оцінки; максимальна кількість балів 50. Підсумкова максимальна кількість балів 100. Академічна добросовісність: очікується, що роботи студентів будуть

	<p>їхніми оригінальними дослідженнями чи міркуваннями. Списування, втручання в роботу інших студентів, відсутність посилань на використані джерела становлять, але не обмежують, приклади можливої академічної не доброчесності. Виявлення ознак академічної не доброчесності в роботах студента є підставою для її не зарахування викладачем, незалежно від масштабів плагіату чи обману.</p> <p>Відвідування занять є важливою складовою навчання. Очікується, що всі студенти відвідають усі лекції і лабораторні 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: уся література, яку студенти не зможуть знайти самостійно. Буде надана викладачем виключно в освітніх цілях без права передачі її третім особам. Студенти заохочуються до використання також й іншої літератури та джерел, яких немає серед рекомендованих.</p> <p>Політика встановлення балів. Враховуються бали набрані за виконання та захист лабораторних робіт і самостійної роботи. При цьому враховується присутність на заняттях та активність студента під час виконання лабораторної роботи; списування та плагіат; користування мобільними пристроями в цілях не пов'язаних з навчанням; несвоєчасне виконання поставленого завдання.</p> <p>Жодні форми порушення академічної доброчесності не толеруються.</p>
<p>Питання до екзамену</p>	<p>Теми для презентацій:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Фулерени. Методи їх синтезу, електронні, оптичні властивості та застосування. 2. Одностінкові вуглецеві нанотрубки. Методи їх синтезу, електронні, оптичні властивості та застосування. 3. Багатостінкові вуглецеві нанотрубки. Методи їх синтезу, електронні, оптичні властивості та застосування. 4. Наносенсори. Будова, властивості та застосування. 5. Прилади на квантових точках – лазери, світло діоди: будова, властивості та застосування. 6. Нейронні мережі. 7. Наноелектроніка: переваги та перспективи. 8. Фотоніка: функціональні переваги та перспективи.
<p>Опитування</p>	<p>Анкету-оцінку з метою оцінювання якості курсу буде надано по завершенню курсу.</p>

Схема курсу «Фізика нанорозмірних об'єктів»

Тиждень	Назва теми	Форма діяльності та обсяг годин	Література	Термін виконання
1,2	<p>Вступ Визначення поняття нанорозмірні об'єкти. Критерії визначення нанооб'єктів: критичний розмір і функціональні властивості. Розмірний ефект. Кореляційний радіус. Класифікація нанорозмірних систем: 0D-, 1D-, 2D-структури.</p> <p>Тема 1. Енергетичний спектр низькорозмірних систем</p> <p>1. Квантування енергії електронів у низькорозмірних системах 2. Енергетичні стани у прямокутному, параболіному, трикутному потенціалах. 3. Особливості зміни густини електронних станів при переході від 3D до 0D системи.</p>	Лекції – 4 год, самостійна робота – 1 год	Базова: 1, 2, 4; Допоміжна: 2, 5	2 тижні
3	<p>Тема 2. Властивості двомірного електронного газу</p> <p>4. Енергетичні рівні та хвильові функції. 5. Наближення Хартрі для електронів у шарах просторового заряду. 6. Квазікласичне наближення для напівпровідників з параболічним і непараболічним законом дисперсії.</p>	Лекції – 2 год, самостійна робота – 1 год	Базова: 3, 4; Допоміжна: 2, 3	1 тиждень
4	<p>Тема 3. Електронні властивості двомірних неупорядкованих систем</p> <p>7. Елементи теорії неупорядкованих систем. 8. Перехід Андерсена у 3D і 2D системах. Концепція мінімальної металічної провідності. 9. Логарифмічна провідність при низьких температурах.</p>	Лекції – 2 год, самостійна робота – 2 год	Базова: 1, 2; Допоміжна: 3, 5	1 тиждень
5,6	<p>Тема 4. Одномірні системи, квантові дроти, надгратки</p> <p>10. Квантування одномірної провідності. 11. Дробова провідність і поняття про рідину Латтінджера. 12. Напівпровідникові надгратки.</p>	Лекції – 4 год, самостійна робота – 2 год	Базова: 3, 4; Допоміжна: 2, 5	2 тижні

	<p>Композиційні та леговані надгратки.</p> <p>13. Енергетичний спектр. Перехід напіметал-напівпровідник. Фізичні властивості надграток.</p> <p>14. Густина станів. Оптичні властивості: внутрішньозонні та міжзонні переходи. Електропровідність надграток.</p>			
7,8	<p>Тема 5. Оптичні властивості нанорозмірних структур</p> <p>15. Екситони у двовимірних напівпровідниках.</p> <p>16. Екситони у квантових нитках та квантових точках.</p> <p>17. Люмінесцентні властивості квантових точок.</p> <p>18. Зміна ширини забороненої зони. Оцінка розмірів наночасток за спектральними даними.</p> <p>19. Перетворення і генерація оптичного випромінювання в наноструктурах.</p> <p>20. Фотонні кристали, у тому числі з оптично активними наноструктурами (напівпровідниковими та металічними).</p> <p>21. Поляритонні ефекти в мікрорезонаторах з активними квантовими ямами.</p>	<p>Лекції – 4 год, самостійна робота – 2 год</p>	<p>Базова: 2, 4; Допоміжна: 1, 3</p>	<p>2 тижні</p>
9	<p>Тема 6. Електрооптика нанорозмірних напівпровідників</p> <p>22. Вплив електричного поля на край оптичного поглинання квантово-розмірних структур.</p> <p>23. Електрооптика одно- та двовимірних екситонів у п'єзоелектричних полях акустичних хвиль.</p> <p>24. Модуляція густини носіїв заряду в квантових ямах п'єзоелектричним полем.</p>	<p>Лекції – 2 год, самостійна робота – 2 год</p>	<p>Базова: 1, 2; Допоміжна: 5</p>	<p>1 тиждень</p>
10,11	<p>Тема 7. Фонони в наноструктурах та механічні властивості наноструктурних об'єктів</p> <p>25. Локалізовані фононі стани.</p> <p>26. Густина фононних станів в наноструктурах.</p> <p>27. Нелінійні оптичні властивості.</p>	<p>Лекції – 4 год, самостійна робота – 2 год</p>	<p>Базова: 3, 4; Допоміжна: 3, 5</p>	<p>2 тижні</p>

	<p>Бозе-конденсація екситонів.</p> <p>28. Розсіяння світла в наноструктурах.</p> <p>29. Зростання міцності нанокристалічних металів.</p> <p>30. Дефектність речовини у нанокристалічному стані.</p>			
12,13	<p>Тема 8. Магнітні властивості</p> <p>31. Двомірні системи у слабкому магнітному полі.</p> <p>32. Квантовий ефект Холла. Модель резервуара. Модель делокалізованих станів.</p> <p>33. Модель крайових станів. Дробовий квантовий ефект Холла.</p> <p>34. Вплив розміру частинок на магнітні властивості феромагнетиків. Перехід у супермагнітний стан. Температура блокування.</p> <p>35. Оцінка розміру наночастки за даними магнітної сприйнятливості.</p> <p>36. Магнітні властивості анізотропних наночастинок.</p>	Лекції – 4 год, самостійна робота – 2 год	Базова: 2, 4; Допоміжна: 2, 5	2 тижні
14,15	<p>Тема 9. Вуглецеві наноструктури</p> <p>37. Фулерени, одностінкові та багатостінкові вуглецеві нанотрубки. Методи їх синтезу та діагностики.</p> <p>38. Електронні та оптичні властивості.</p>	Лекції – 4 год, самостійна робота – 1 год	Базова: 3, 5; Допоміжна: 5, 6	2 тижні
16	<p>Тема 10. Застосування наноматеріалів</p> <p>39. Наносенсори. Наноелектроніка. Фотоніка.</p> <p>40. Прилади на квантових точках – лазери, світлодіоди.</p> <p>41. Електронні механічні системи.</p> <p>42. Нейронні мережі.</p>	Лекції – 2 год, самостійна робота – 1 год	Базова: 1, 2, 3; Допоміжна: 1, 5, 6	1 тиждень

Таблиця 2

Теми лабораторних занять

Тиждень	Назва теми	Форма діяльності та обсяг годин	Термін виконання
1	Вступне заняття	лаборатор. заняття – 2 год	1 тиждень
2	Контактна атомно-силова мікроскопія	лаборатор. заняття – 2 год, самостійна робота – 1 год	1 тиждень
3	Штучне наноформування. Отримання	лаборатор. заняття – 2 год,	1 тиждень

	нанотрубок ZnO	самостійна робота – 1 год	
4, 5	Обчислення розміру наночастинок ZnO у водному розчині по спектру поглинання	лаборатор. заняття – 4 год, самостійна робота – 1 год	2 тижні
6	Напівконтактний режим роботи скануючого атомно-силового мікроскопа	лаборатор. заняття – 2 год, самостійна робота – 1 год	1 тиждень
7, 8	Вплив домішок на край поглинання легованих Al та Ga плівок ZnO	лаборатор. заняття – 4 год, самостійна робота – 1 год	2 тижні
9, 10	Дослідження температурної еволюції спектрів фотолюмінесценції наноструктур ZnO вирощених гідротермічним методом	лаборатор. заняття – 4 год, самостійна робота – 1 год	2 тижні
11, 12	Дослідження спектрів фотолюмінесценції наноструктур ZnO. Колірні характеристики джерел випромінювання світла	лаборатор. заняття – 4 год, самостійна робота – 1 год	2 тижні
13	Створення острівкових плівок золота та срібла, оптичні властивості водних розчинів наночастинок золота та срібла	лаборатор. заняття – 2 год, самостійна робота – 1 год	1 тиждень
14	Газові сенсори	лаборатор. заняття – 2 год, самостійна робота – 1 год	1 тиждень
15	Робота СЗМ Solver P47 у режимі скануючого тунельного мікроскопа	лаборатор. заняття – 2 год, самостійна робота – 1 год	1 тиждень
16	Заключне заняття	лаборатор. заняття – 2 год	1 тиждень