

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**Львівський національний університет імені Івана Франка**  
**Факультет електроніки та комп'ютерних технологій**  
**Кафедра фізичної та біомедичної електроніки**

**Затверджено**

На засіданні ФБМЕ  
факультету електроніки та комп'ютерних  
технологій  
Львівського національного університету  
імені Івана Франка  
(протокол № \_\_\_\_\_ 2023 р.)

Завідувач кафедри Бордун О.М.

**Силабус з навчальної дисципліни**  
**«Нанoeлектронні системи»,**  
**першого (бакалаврського) рівня вищої освіти**  
**галузь знань 15 Автоматизація та приладобудування**  
**для здобувачів зі спеціальності**  
**176 Мікро- та наносистемна техніка**

<b>Назва дисципліни</b>	<b>Нанoeлектронні системи</b>
<b>Адреса викладання дисципліни</b>	м. Львів, вул. Драгоманова, 50
<b>Факультет та кафедра, за якою закріплена дисципліна</b>	Факультет електроніки та комп'ютерних технологій, кафедра фізичної та біомедичної електроніки
<b>Галузь знань, шифр та назва спеціальності</b>	15 Автоматизація та приладобудування спеціальність 176 Мікро- та наносистемна техніка
<b>Викладачі дисципліни</b>	Бігун Роман Іванович, доктор фіз.-мат. наук, доцент
<b>Контактна інформація викладачів</b>	roman.bihun@lnu.edu.ua чи bihun28@ukr.net <a href="https://electronics.lnu.edu.ua/employee/bihun-r-i">https://electronics.lnu.edu.ua/employee/bihun-r-i</a>
<b>Консультації з питань навчання по дисципліні відбуваються</b>	Консультації в день проведення лекційних занять (за попередньою домовленістю). Також можливі он-лайн консультації через MS Teams та Zoom. Для погодження часу он-лайн консультацій слід писати на електронну пошту викладача.
<b>Сторінка дисципліни</b>	<a href="https://teams.microsoft.com/l/team/19%3a5283a0eb97ef49d4bdeb1ef3897bf582%40thread.tacv2/conversations?groupId=9b40638b-c8ab-47ce-977f-0a402795dadac&amp;tenantId=70a28522-969b-451f-bdb2-abfea3aaa5bf">https://teams.microsoft.com/l/team/19%3a5283a0eb97ef49d4bdeb1ef3897bf582%40thread.tacv2/conversations?groupId=9b40638b-c8ab-47ce-977f-0a402795dadac&amp;tenantId=70a28522-969b-451f-bdb2-abfea3aaa5bf</a>
<b>Інформація про дисципліну</b>	Дисципліна «Нанoeлектронні системи» є нормативною дисципліною з спеціальності <b>176 Мікро- та наносистемна техніка</b> , яка викладається в 5-му семестрі в обсязі 5 кредитів (за Європейською Кредитно-Трансферною Системою ECTS).
<b>Коротка анотація дисципліни</b>	<p>Курс „Нанoeлектронні системи” є профілюючим у підготовці студентів фундаментальних та технічних спеціальностей. Без ґрунтовних знань з фізики розмірних ефектів, фізики поверхні, сучасної наноелектроніки, а також принципів роботи мікро- та наноелектронної техніки, неможлива майбутня повноцінна професійна діяльність в областях математичного моделювання, інженерного проектування та створення конкурентних електронних пристроїв на базі елементної бази сучасної електроніки. Вивчення та розуміння законів та явищ сучасної електроніки є фундаментальною основою подальшого розвитку та створення сучасної елементної бази електроніки так еволюції новітніх галузей економіки, науки і техніки. Їхнє вивчення під час лекційних і лабораторних занять дає змогу студенту опанувати ключові принципи сучасної мікро та нано-інженерії та розширити свій кругозір в області прогресу та напрямку еволюції сучасної мікро- та наносистемної техніки.</p> <p>Лабораторний практикум з пропонованого курсу для студентів факультету електроніки та комп'ютерних технологій базується на сучасній елементній базі електроніки і є важливим фундаментом для набуття навиків роботи з цифровою та аналоговою апаратурою. Студенти також отримують необхідні навички, щодо методів дослідження та діагностики роботи сучасних пристроїв, що закладає передумови для самостійної прикладної та наукової роботи студента.</p>
<b>Мета та цілі дисципліни</b>	Метою вивчення нормативної дисципліни «Нанoeлектронні системи» є формування в майбутнього спеціаліста цілісної картини фізичних феноменів та явищ на яких базується робота сучасних електронних пристроїв, що передбачає виклад та використання вибраних розділів фізики твердого тіла, фізики розмірних явищ, фізичної електроніки, електрики, схемотехніки, цифровою та аналоговою електронікою. Предмет навчальної дисципліни включає основні поняття, закономірності та закони, що відносяться до розділів матеріалознавства, фізики розмірного ефекту та сучасної функціональної і цифрової електроніки.

Література для вивчення дисципліни	<p style="text-align: center;"><b>Основна література:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Кучерук І.М., Горбачук І.Т., Луцик П.П. Загальний курс фізики. Т.2. Електрика.. – К, 1999.– 491 с.</li> <li>2. Біоелектронні мікро- та наносистеми. Конспект лекцій [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 153 «Мікро- та наносистемна техніка», освітньої програми «Електронні мікро- і наносистеми та технології» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: Н. Г. Іванушкіна, К. О. Іванько. Електронні текстові дані (1 файл: 6.39 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. 205 с.</li> <li>3. Волков О.Ф., Лумпієва Т.П. Курс фізики: У 2-х т. Т.2: Коливання і хвилі. Хвильова і квантова оптика. Елементи квантової механіки. Основи фізики твердого тіла. Елементи фізики атомного ядра. Навчальний посібник для студентів інженерно-технічних спеціальностей вищих навчальних закладів. – Донецьк: ДонНТУ, 2009. – 208 с.</li> <li>4. М.О. Боровий, Ю.А. Куницький, О.О. Каленик, І.В. Овсієнко, Т.Л. Цареградська. Навчальний посібник „Наноматеріали, Нанотехнології, Нанопристрої”, Київ: «Інтерсервіс», 2015. 350 с.</li> <li>5. Ю. М. Поплавко. Фізика твердого тіла : підручник. В 2-х томах. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2017. Том 1: Структура, квазічастинки, метали, магнетика. 415 с.</li> <li>6. Багдасарян А. А. Основи наноелектроніки: навчальний посібник. Сумський державний університет. 2019. 133 с.</li> <li>7. В.В. Погосов, Ю.А. Куницький, А.В. Бабіч, А.В. Коротун, А.П. Шпак. Нанофізики та нанотехнології. Суми. 2010. – 380 с.</li> </ol> <p style="text-align: center;"><b>Додаткова література:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>8. І.О. Вакарчук. Квантова механіка. Видання третє, доповнене. Підручник. ЛНУ імені Івана Франка. 2007. – 848 с.</li> </ol>
Обсяг курсу	196 години аудиторних занять. З них 98 години лекцій, 96 години лабораторних робіт та 176 годин самостійної роботи.
Очікувані результати навчання	<p>Після завершення цього курсу студент буде:</p> <p><b>Знати</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- основні ідеї, поняття та закони сучасної електроніки, фізики розмірного ефекту, межі їхнього застосування,</li> <li>- тенденції та напрямки розвитку сучасної наноелектроніки на основі отриманих знань в області фізики розмірного стану та сучасної мікро- і наноелектроніки;</li> <li>- базові принципи роботи сучасних функціональних та цифрових пристроїв електроніки;</li> <li>- головні технічні проблеми, щодо експлуатації, режимів роботи, діапазонів та особливостей застосування сучасних елементів та пристроїв на їх основі.</li> </ul> <p><b>Вміти</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- застосовувати вивчені закони і принципи для постановки та розв’язування задач з сучасної електроніки;</li> <li>- застосовувати здобуті знання на практиці, під час фізичного експерименту;</li> <li>- пояснювати електричні процеси та явища, які є в основі роботи сучасної мікро- та нано- системної техніки, використовуються при роботі сучасної цифрової та функціональної техніки та побуті;</li> <li>- діагностувати принципи дії та область застосування фізичних методів та пристроїв, робота яких ґрунтується на електромагнітних явищах та впливу на них розмірних явищ.</li> </ul>
Ключові слова	Мікро - та нано системна техніка, функціональна та цифрова електроніка, фізика твердого тіла, фізична електроніка, фізика поверхні, фізика розмірних явищ.

Формат курсу	Очний
	Проведення лекцій, лабораторних робіт та консультації для кращого розуміння тем.
Теми	Див. СХЕМА КУРСУ
Підсумковий контроль, форма	Іспит.
Пререквізити	Для вивчення дисципліни необхідні знання з таких розділів математики і фізики: математичний аналіз, основи векторного аналізу та теорії диференціальних рівнянь, фізичної електроніки, електрики, основ схемотехніки, фізики твердого тіла та матеріалознавства.
Навчальні методи та техніки, які будуть використовуватися під час викладання курсу	Презентації, лекції, лабораторні роботи, обговорення, дискусії.
Необхідне обладнання	Мультимедіа, платформа Moodle, платформа MS Teams, комп'ютерне програмне забезпечення
Критерії оцінювання (окремо для кожного виду навчальної діяльності)	Оцінювання проводиться упродовж семестру за 50-бальною шкалою. Бали нараховуються за такими видами робіт з наступним співвідношенням: <ul style="list-style-type: none"> <li>• лабораторні роботи: 66% семестрової оцінки; максимальна кількість балів 30.</li> <li>• дві контрольні роботи: 34% семестрової оцінки; максимальна кількість балів 20.</li> </ul>
	<p><b>Загалом упродовж семестру 50 балів.</b></p> <p>Іспит проводиться в письмовій формі з наступною усною співбесідою. Білет з іспиту включає в себе два запитання з програми даного курсу, одну задачу, тестові завдання і оцінюється в 50 балів.</p> <p><b>Контрольні роботи проводяться у формі тестових завдань. Академічна доброчесність:</b> Очікується, що лабораторні та контрольні роботи студентів будуть їх оригінальними дослідженнями чи міркуваннями. Відсутність посилань <b>Контрольні роботи проводяться у формі тестових завдань. Академічна доброчесність:</b> Очікується, що лабораторні та контрольні роботи студентів будуть їх оригінальними дослідженнями чи міркуваннями. Відсутність посилань на використані джерела, фабрикування джерел, списування, втручання в роботу інших студентів становлять, але не обмежують, приклади можливої академічної недоброчесності. Виявлення ознак академічної недоброчесності в роботі студента є підставою для її незарахування викладачем, незалежно від масштабів плагіату чи обману.</p> <p><b>Відвідання занять</b> є важливою складовою навчання. Очікується, що всі студенти відвідають усі лекції і лабораторні заняття курсу. Студенти мають інформувати викладача про неможливість відвідати заняття. Студенти зобов'язані дотримуватися усіх термінів визначених для виконання усіх видів робіт, передбачених курсом.</p> <p><b>Література.</b> Уся література, яку студенти не зможуть знайти самостійно, буде надана викладачем виключно в освітніх цілях без права її передачі третім особам. Студенти заохочуються до використання також й іншої літератури та джерел, яких немає серед рекомендованих.</p> <p><b>Політика виставлення балів.</b> Враховуються бали набрані під час семестру, виконанні самостійної роботи та бали підсумкового тестування. При цьому обов'язково враховуються присутність на заняттях та активність студента під час лабораторного заняття; недопустимість пропусків та запізнь на заняття; користування мобільним телефоном, планшетом чи іншими мобільними пристроями під час заняття в цілях не пов'язаних з навчанням; списування та плагіат; несвоєчасне виконання поставленого завдання і т. ін.</p> <p>Жодні форми порушення академічної доброчесності не толеруються.</p>
Питання до контрольних робіт	Перелік питань та завдань для проведення контрольних робіт розміщені на веб-сторінці.
Опитування	Анкету-оцінку з метою оцінювання якості курсу буде надано по завершенню курсу.

## СХЕМА КУРСУ

Тиж.	Тема, план, короткі тези	Форма діяльності (заняття)	Література. Ресурси в Інтернеті	Завдання (лабораторна робота), год	Термін виконання
1	Електричні властивості твердих тіл з пониженою розмірністю. Основи теорії розсіяння. Правило Матіссена. Електропровідність в моделях Друде-Зомерфельда. Статична та динамічна електропровідність в напівкласичній моделі.	Лекція	1, 3, 4, 7, 8, 9	Вступ. Інструктаж з техніки безпеки. Основи електричних вимірювань та сучасне керування цифровими вимірюваннями.	2-й тиж. семестру
2	Теплові властивості кристалів. Теплоємність твердих тіл. Порушення закону Відемана-Франца. Теплове розширення твердих тіл. Теплопровідність твердих тіл.	Лекція	1, 3, 4, 5, 7, 8, 9	Вивчення залежності електропровідності напівпровідників від напруженості електричного поля ЛР. 10. 2 год.	
3	Вступ до фізики розмірних явищ. Вагомі «Наноподії». Фізичні процеси на поверхні твердих тіл. Вплив зменшення геометричних розмірів об'єктів на їх фізичні властивості. Модель Фукса-Зондгеймера. Класичний розмірний ефект.	Лекція	1, 3, 4, 7, 8, 9	Дослідження нелінійних і температурних характеристик сегнетоелектриків ЛР. 10. 2 год.	3-й тиж. семестру
4	Внутрішній розмірний ефект. Модель Маядаса-Шацкеса та Телье-Тосе-Пішара. Модель Віссмана.	Лекція	1, 3, 4, 7, 8, 9	Дослідження властивостей сегнетоелектриків ЛР. 9. 2 год.	
5	Оптичні властивості твердих тіл. Плазмова частота. Колір металів. Вплив розмірного ефекту на оптичні властивості низько розмірних систем. Поглинання світла. Плазмонний резонанс в наночастинках.	Лекція	1, 3, 4, 7, 8, 9	Дослідження магнітних властивостей феритів. ЛР. 8. 2 год.	4-й тиж. семестру
6	Діелектричні властивості кристалів. Основні рівняння для опису властивостей діелектриків. Зв'язок макро- і мікроскопічних властивостей діелектриків. Механізми поляризації діелектриків.	Лекція	1, 3, 4, 7, 8, 9	Вивчення зміни опору металів і напівпровідників у магнітному полі ЛР. 4. 2 год.	5-й тиж. семестру
7	Поляризація іонних кристалів. Дипольна пружна поляризація. Діелектричні втрати. Активні діелектрики. Властивості сегнето-і піроелектриків. Фазові переходи другого роду в діелектриках. Прямий і обернений п'єзоелектричний ефекти.	Лекція	1, 3, 5, 7, 8, 9	Вивчення зміни опору металів і напівпровідників у магнітному полі ЛР. 5. 2 год.	
8	Феро-, антиферо-, феримагнетизм. Феромагнетизм. Внутрішнє магнітне поле Вейса. Закон Кюрі-Вейса. Електростатична природа поля Вейса. Модель Гейзенберга. Ферити. Температура Кюрі і сприйнятливості феримагнетиків. Закон Кюрі для антиферомагнетиків. Температура Нееля.	Лекція	1, 3, 4, 7, 9	Дослідження термоелектричних явищ у напівпровідниках ЛР. 5. 2 год.	6-й тиж. семестру

9	Доменна структура. Феромагнітні домени. Рух границь при намагнічуванні. Ефект Баркгаузена. Гістерезис. Магнітна анізотропія. Наведена, обмінна, поверхнева анізотропія. Енергія магніострикційної деформації. Магнітопружна і магністатична енергія. Магнітна енергія. Циліндричні магнітні домени.	Лекція	1, 3, 4, 7, 8, 9	Вивчення залежності електропровідності напівпровідників від напруженості електричного поля. ЛР. 6. 2 год.	7-й тиж. семестру
10	Атоми, іони та молекули. Кристали та кристаліти. Кластери. Вуглецеві кластери. Вуглецеві нанотрубки. Структура нанотрубки. Самоорганізація і само збір наноструктур. Самоорганізація в природі.	Лекція	1, 3, 4, 7, 8, 9	Дослідження параметрів напівпровідників шляхом вимірювання е.р.с. Холла. ЛР. 7. 2 год	8-й тиж. семестру
11	Гетеро структури та гетеро переходи. Надгратки. Фулерени. Структура фулеренів. Методи отримання фулеренів. Застосування фулеренів. Нанотабулярні матеріали. Властивості нанотрубок. Застосування нанос трубок.	Лекція	1, 3, 4, 7, 8, 9	Цифровий давач Холла ЛР. 8. 2 год.	9-й тиж. семестру
12	Плівки поверхнево-активних речовин. Плівки Ленгмюра-Блоджетта. Властивості ленгмюрівських плівок.	Лекція	1, 3, 4, 7, 8, 9	Проміжне підсумкове заняття ЛР. 9. 2 год.	10-й тиж. семестру
13	Тунельний ефект. Імовірність тунелювання. Холодна емісія електронів.	Лекція	1, 2, 4, 8, 9	Автоматизація дослідження фазового переходу феромагнетика в околі точки Кюрі ЛР. 10. 2 год.	11-й тиж. семестру
14	Енергетичні стани електронів у твердих тілах. Кристалічне та аморфний стан речовини. Енергія зв'язку іонного кристалу. Ковалентний і металічний зв'язок.	Лекція	1, 3, 2, 7, 8, 9	Керування роботою адресної світлодіодної стрічки на базі ARDUINO ЛР. 11. 2 год.	12-й тиж. семестру
15	Розподіл Фермі –Дірака та Бозе-Енштейна. Електропровідність металів.	Лекція	1, 3, 4, 5, 8, 9	Автоматизація та обробка даних диференціальної термопари на базі цифрового модуля. Вивчення ефекту Зеебека. ЛР. 12. 2 год.	13-й тиж. семестру
16	Зона теорія твердих тел. Контактні явища. Ефект Зеебека та Пельтте. Напівпровідники.	Лекція	1, 3, 4, 5, 8, 9	Вивчення роботи елемента Пельте ЛР. 13. 2 год.	14-й тиж. семестру

17	Успіхи наноелектроніки. Електролюмінісцентні прилади на пористому кремнії. Електрооптичний перемикач. Мініатюрний рефреджиратор. Шатл для електронів.	Лекція	1, 3, 5, 7, 8, 9	Дослідна перевірка закону Відемана-Франца ЛР. 14. 2 год.	15-й тиж. семестру
18	Наноелектромеханічний транзистор. Молекулярний двигун на нанотрубках. Діод нанотрубка. Польовий транзистор на нанотрубці. Дисплей з нанотрубок. Молекулярний транзистор.	Лекція	1, 3, 5, 7, 8, 9	Контрольна робота	16-й тиж. семестру
19	Підсумки та обговорення пройденного матеріалу. Консультація.	Лекція	1, 3, 4, 5, 8, 9	Підсумкове заняття ЛР. 16. 2 год.	До іспиту