

**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 №1 від 30 серпня 2021 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**  
**153 Мікро- та наносистемна техніка**

<b>Назва дисципліни</b>	Нанoeлектронні системи
<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 153 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 https://electronics.lnu.edu.ua/employee/bihun-r-i
<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. 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-0a402795dadc&amp;tenantId=70a28522-969b-451f-bdb2-abfea3aaa5bf">https://teams.microsoft.com/l/team/19%3a5283a0eb97ef49d4bdeb1ef3897bf582%40thread.tacv2/conversations?groupId=9b40638b-c8ab-47ce-977f-0a402795dadc&amp;tenantId=70a28522-969b-451f-bdb2-abfea3aaa5bf</a>
<b>Інформація про дисципліну</b>	Дисципліна «Нанoeлектронні системи» є нормативною дисципліною з спеціальності <b>153 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 одним з основних у профілюючій підготовці студентів фундаментальних та технічних спеціальностей. Без ґрунтовних знань з фізики розмірних ефектів, фізики поверхні, сучасної нанoeлектроніки, а також принципів роботи мікро- та нанoeлектронної техніки, неможлива майбутня повноцінна професійна діяльність в областях математичного моделювання, інженерного проектування та створення конкурентних електронних пристроїв на базі сучасної елементної бази сучасної електроніки. Закони та явища фізики є фундаментальною основою розвитку та поступу сучасної електроніки, а від так і основою для еволюції новітніх галузей економіки, науки і техніки. Їхнє вивчення під час лекційних і лабораторних занять дає змогу студенту опанувати ключові принципи сучасної інженерії та розширити свій кругозір в області сучасної електроніки.</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 явищ при роботі сучасних електронних пристроїв. Це передбачає виклад вибраних розділів фізики розмірних явищ, фізичної електроніки, електрики, схемотехніки та базових принципів роботи з цифровою електронікою. Предмет навчальної дисципліни включає основні поняття, закономірності та закони, що відносяться до розділів матеріалознавства, фізики розмірного ефекту та сучасної функціональної і цифрової електроніки.

<p><b>Література для вивчення дисципліни</b></p>	<p><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. Ч. Китель. Введение в физику твердого тела. Перевод с четвертого американського издания А.А. Гусева. «Наука», М.: 1978.- 792 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. В.И. Марголин, В.А. Жабреев, В.А. Тупик. Физические основы электроники: учебник для студ. Высш. Учеб. Заведений. - М.: Издательский центр «Академия», 2008.- 400 с.</li> <li>5. Нанотехнологии в электронике. Под редакцией члена-корреспондента РАН Ю.А. Чаплыгина. – М.: «Техносфера», 2005.– 448 с.</li> <li>6. А.А. Щука. Нанoeлектроника. Под редакцией академика Ю.В. Гуляева. – М.: «Физматкнига». 2007. – 464 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><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> <li>9. К.Л. Чопра. Электрические явления в тонких пленках. Перевод з англійського под редакцией проф. Т.Д. Шермергора. М.: МИР. 1972. – 425 с.</li> </ol>
<p><b>Обсяг курсу</b></p>	<p>196 години аудиторних занять. З них 98 години лекцій, 96 години лабораторних робіт та 176 годин самостійної роботи.</p>
<p><b>Очікувані результати навчання</b></p>	<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>
<p><b>Ключові слова</b></p>	<p>Мікро - та нано системна техніка, функціональна та цифрова електроніка, фізика твердого тіла, фізична електроніка, фізика поверхні, фізика розмірних явищ.</p>
<p><b>Формат курсу</b></p>	<p>Очний</p>

	Проведення лекцій, лабораторних робіт та консультації для кращого розуміння тем.
<b>Теми</b>	Див. СХЕМА КУРСУ
<b>Підсумковий контроль, форма</b>	Іспит.
<b>Пререквізити</b>	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.
<b>Навчальні методи та техніки, які будуть використовуватися під час викладання курсу</b>	Презентації, лекції, лабораторні роботи, обговорення, дискусії.
<b>Необхідне обладнання</b>	Мультимедіа, платформа Moodle, платформа MS Teams, комп'ютерне програмне забезпечення
<b>Критерії оцінювання (окремо для кожного виду навчальної діяльності)</b>	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 align="center"><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.</b></p> <p><b>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.</b></p> <p><b>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 align="center">Жодні форми порушення академічної доброчесності не толеруються.</p>
<b>Питання до контрольних робіт</b>	Перелік питань та завдань для проведення контрольних робіт розміщені на веб-сторінці.
<b>Опитування</b>	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. Основи теорії розсіювання. 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.	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 Тельс-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 магнітострикційної деформації. Магнітопружна і магнітостатична 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	Дослідження точки Кюрі в феромагнетиках 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	Дослідження роботи адресної світлодіодної стрічки. ЛР. 11. 2 год.	12-й тиж. семестру
15	Розподіл Фермі –Дірака та Бозе-Енштейна. Електрропровідність металів.	Лекція	1, 3, 4, 5, 8, 9	Дослідження диференціальної термопар. 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	Дослідження елемента Пельтте ЛР. 13. 2 год.	14-й тиж. семестру
17	Успіхи наноелектроніки. Лазери на квантових точках. Електролюмінісцентні прилади на пористому кремнію. Електрооптичний перемикач. Мініатюрний рефреджиратор. Шатл для електронів.	Лекція	1, 3, 5, 7, 8, 9	Розрахунок кінетичних коефіцієнти в рамках моделі Фукса-Зондгеймера 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