

**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**

**“Фізична електроніка”**

**підготовки бакалаврів**

**галузь знань 15 Автоматизація та приладобудування**  
**спеціальність 153 Мікро- та наносистемна техніка**  
**факультет електроніки та комп'ютерних технологій**

**Львів 2022**

<b>Назва дисципліни</b>	<b>Фізична електроніка</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 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, <a href="https://electronics.lnu.edu.ua/employee/stasyuk-z-v">https://electronics.lnu.edu.ua/employee/stasyuk-z-v</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. 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 «Фізична електроніка» є нормативною дисципліною з спеціальності 15 Автоматизація та приладобудування спеціальність 153 Мікро- та наносистемна техніка, яка викладається в 5-му семестрах в обсязі 5 кредитів (за Європейською Кредитно-Трансферною Системою ECTS).
<b>Коротка анотація дисципліни</b>	<p>Курс „Фізична електроніка” є одним з основних у профілюючій підготовці студентів технічних спеціальностей. Без ґрунтовних знань з фізики та електроніки неможлива майбутня повноцінна професійна діяльність в областях математичного моделювання, інженерного проектування, тощо. Закони та явища фізики є основою сучасної електроніки, фундаментом для різних галузей науки і техніки. Їхнє вивчення під час лекційних і лабораторних занять дасть змогу опанувати багато інших важливих курсів на факультеті електроніки.</p> <p>Лабораторний практикум з курсу „ Фізична електроніка” для студентів факультету електроніки та комп'ютерних технологій є важливим фундаментом для набуття навиків роботи з апаратурою, дає відомості про методи дослідження фізичних явищ, закладає передумови для самостійної прикладної та наукової роботи.</p>
<b>Мета та цілі дисципліни</b>	Виклад основних закономірностей руху заряджених частинок у вакуумі, газовому середовищі, твердих тілах та системах пониженої розмірності, закономірностей виходу заряджених частинок з твердих тіл (основи емісійної електроніки), та розгляд базових принципів застосування згаданих закономірностей при проектуванні, розробці і побудові сучасних пристроїв вакуумної, плазмової, емісійної і нано-електроніки.

<p><b>Література для вивчення дисципліни</b></p>	<p style="text-align: center;"><b>Методичне забезпечення</b></p> <p>1. З.В. Стасюк, Р.І. Бігун, М.М. Козак., Я.А. Пастирський., Б.Р. Пенюх. Вакуумна та плазмова електроніка. Лабораторний практикум. За заг. ред. Проф. З.В. Стасюка.– Львів: Видавничий центр ЛНУ імені Івана Франка. 2020. 480 с.</p> <p style="text-align: center;"><b>Рекомендована література</b></p> <p>2. С. Поп, І. Шароді. Фізична електроніка. Львів “Свросвіт”, 2001, - 247с.</p> <p>3.С.М. Левитський. Фізична електроніка: Підручник. К.:ВЦ “Київський університет”, 2005, - 153с. (електронна версія)</p> <p>4. А.А. Шука. Электроника. Учебное пособие/ Под ред. проф. А.С. Сигова. СПб.: БВХ-Петербург, 2008, - 800с. (електронна версія)</p> <p>5. В.В. Евстифеев. Эмиссионные явления на поверхности твердого тела. Пенза : Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2008, - 240с. (електронна версія)</p> <p>6. Л.Н. Добрецов, М.В. Гомоюнова. Эмиссионная электроника. М.: “Наука”, 1966, - 564с. (електронна версія)</p> <p>7.А.И. Аксенов, А.Ф. Злобина. Вакуумная и плазменная электроника. Учебное пособие, Томск, 2007, - 168с. (електронна версія)</p> <p style="text-align: center;"><b>Допоміжна</b></p> <p>8. Б.П. Никонов. Оксидный катод. – М.: Энергия”, 1979, - 240с.</p> <p>9. Н.А. Соболева, А.Е. Меламид. Фотоэлектронные приборы. М.: “Высшая школа”, 1974, - 376с.</p>
<p><b>Обсяг курсу</b></p>	<p>92 години аудиторних занять. З них 48 години лекцій, 48 години лабораторних робіт та 91 годин самостійної роботи.</p>
<p><b>Очікувані результати навчання</b></p>	<p style="text-align: center;">Після завершення цього курсу студент буде:</p> <p><b>Знати:</b></p> <p>1. Основні закономірності руху заряджених частинок в електромагнітному полі різної геометрії та різних середовищах.</p> <p>2. Основні закономірності виходу електронів з твердих тіл.</p> <p>3. Основні напрямки практичного використання сучасних вакуумної, плазмової, твердотільної та нано- технологій в науці та техніці.</p> <p><b>Вміти:</b></p> <p>1. Використовувати засвоєний матеріал для аналізу, прогнозування та пояснення принципів дії сучасних пристроїв електроніки.</p> <p>2. Розв'язувати рівняння руху заряджених частинок в електромагнітному полі.</p> <p>3. Проводити експериментальні та теоретичні дослідження з використанням вивченого матеріалу при автоматизації роботи сучасних пристроїв фізичної електроніки.</p>
<p><b>Ключові слова</b></p>	<p>Електромагнітне поле. Емісійна електроніка. Фізика низькотемпературної плазми. Алгоритми керування електровакуумними приладами. Електронні мікроскопи та електронографи.</p>
<p><b>Формат курсу</b></p>	<p>Мішаний</p>
<p></p>	<p>Проведення лекцій, лабораторних робіт та консультації для кращого розуміння та розкриття тем сучасної електроніки.</p>
<p><b>Теми</b></p>	<p>Див. СХЕМА КУРСУ</p>
<p><b>Підсумковий контроль, форма</b></p>	<p>Іспит.</p>
<p><b>Пререквізити</b></p>	<p>Для вивчення дисципліни необхідні знання з таких розділів математики і фізики: математичний аналіз, основи векторного аналізу та теорії диференціальних рівнянь, механіка, електрика, теорія електромагнітного поля.</p>

<b>Навчальні методи та техніки, які будуть використовуватися під час викладання курсу</b>	Презентації, демонстрації, лекції, лабораторні роботи, обговорення, дискусії, онлайн зустрічі, гуртки та самостійна робота студентів над напрямками сучасної електроніки.
<b>Необхідне обладнання</b>	Мультимедіа, платформа Moodle, платформа MS Teams, комп'ютерне програмне забезпечення
<b>Критерії оцінювання (окремо для кожного виду навчальної діяльності)</b>	<p>Оцінювання проводиться упродовж семестру за 50-бальною шкалою. Бали нараховуються за такими видами робіт з наступним співвідношенням:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• лабораторні роботи: максимальна кількість балів 15.</li> <li>• три контрольні роботи: максимальна кількість балів 25.</li> <li>• активність у самостійній роботі 10</li> </ul>
	<p style="text-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. 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. 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 (3 годинні лабораторні заняття)	Термін виконання
1	Вступ. Предмет сучасної фізичної електроніки. Властивості газів при понижених тисках, поняття вакууму. Елементи балістики заряджених частинок. Рівняння руху та енергії зарядженої частинки в електромагнітному полі. Рух зарядженої частинки в стаціонарних полях. Загальний випадок руху зарядженої частинки в однорідних стаціонарних електричному та магнітному полях.	Лекція 3 год	1, 3, 4, 7, 8, 9	Вступне заняття. Інструктаж з техніки безпеки.	2-й тиж. семестру
2	Електровакуумні прилади, їх класифікація. Електронні лампи. Електронно-променеві прилади. Електронні мікроскопи та електронограми. Циклотронний резонанс. Прискорювачі заряджених частинок. Мас-спектрометри	Лекція 3 год	1, 3, 4, 7, 8, 9	Визначення питомого заряду електрона методом магнетрона.	3-й тиж. семестру
3	Поняття про електронну оптику. Корпускулярно-хвильові аналогії. Електронно-оптичний показник заломлення. Електричні та магнітні поля з осьовою симетрією. Рух електронів в полях з осьовою симетрією.	Лекція 3 год	1, 3, 4, 7, 8, 9	Визначення питомого заряду електрона методом магнітного фокусування.	4-й тиж. семестру
4	Типи електричних лінз. Характеристики електронних лінз. Коротка електростатична лінза. Імерсійні та поодинокі лінзи. Імерсійний об'єктив. Магнітні лінзи. Довга магнітна лінза. Коротка магнітна лінза. Магніто-електричні лінзи. Поняття про аберації електронних лінз.	Лекція 3 год	1, 3, 4, 7, 8, 9	Вивчення короткої магнітної лінзи	5-й тиж. семестру
5	Електронні призми. Електричні та магнітні відхилювальні системи.	Лекція 3 год	1, 3, 4, 7, 10	Вивчення електростатичної відхилювальної системи	6-й тиж. семестру
6	Просторовий заряд в пучках заряджених частинок. Струм пучка, обмежений просторовим зарядом. Формули Чайлда-Ленгмюра та Ленгмюра-Богуславського. Електростатична і електродинамічна взаємодія електронів у пучку. Зміна форми пучків внаслідок відштовхування між електронами. Проблема створення пучків з великою густиною струму.	Лекція 3 год	1, 3, 4, 7, 8, 9	Вивчення магнітної відхилювальної системи	7-й тиж. семестру
7	Джерела електронів у ЕВП. Явище емісії електронів. Поверхневий потенціальний бар'єр. Поняття про роботу виходу. Види електронної емісії та їхня порівняльна характеристика.	Лекція 3 год	1, 3, 4, 7, 8, 9	Дослідження електрон-атомних зіткнень в інертних газах	8-й тиж. семестру
8	Термоелектронна емісія металів. Формула Річардсона-Дешмана. Вплив електричного поля на термоелектронну емісію металів. Ефект Шоткі. Методи визначення роботи виходу металів. Плікові термокатоде.	Лекція 3 год	1, 3, 4, 7, 8, 9	Вивчення переходу від несамостійного до самостійного розряду, дослідна перевірка закону Пашена	9-й тиж. семестру
9	Автоелектронна емісія. Автоелектронний мікроскоп-проектор. Механізми виникнення автоелектронної емісії. Енергетичний розподіл авто електронів. Особливості автоелектронної емісії напівпровідників. Автоіонна емісія. Сканувальний тунельний мікроскоп.	Лекція 3 год	1, 3, 4, 7, 8, 9	Вивчення вольтамперних характеристик вакуумного діода в ділянці обмеження струму просторовим зарядом	10-й тиж. семестру

10	Фотоелектронна емісія. Види фотоелекту. Елементарні закони зовнішнього фотоелекту. Основні характеристики зовнішнього фотоелекту. Вплив ефекту Шоткі на фотоелект. Селективний фотоелект. Особливості фотоелектронної емісії з металів. Енергетичний розподіл фотоелектронів.	Лекція 3 год	2, 4, 8	Проміжне звітне заняття	11-й тиж. семестру
11	Фотоелектронна емісія напівпровідників і діелектриків. Механізми поглинання світла. Термоелектронна та фотоелектронна робота виходу напівпровідників та діелектриків. Ефективні фотокаоди.	Лекція 3 год	2, 4, 8	Вивчення термоелектронної емісії металів. Ефект Шоткі.	12-й тиж. семестру
12	Вторинна електронна емісія (ВЕЕ). Основні параметри та характеристики ВЕЕ. Особливості методики дослідження ВЕЕ. Енергетичний спектр вторинних електронів.	Лекція 3 год	2, 4, 8	Визначення роботи виходу електрона з металу методом контактної різниці потенціалів.	13-й тиж. семестру
13	Використання вторинних електронів в науці та техніці. Вторинна емісія з напівпровідників та діелектриків. Ефективні вторинно-електронна емісія. Ефект Мальтера. Емісія гарячих електронів. Екзоелектронна емісія.	Лекція 3 год	2, 4, 8	Вивчення автоелектронної емісії	14-й тиж. семестру
14	Елементарні процеси в низькотемпературній плазмі газового розряду. Зіткнення між атомними частинками. Види зіткнень, ймовірність зіткнення. Поперечний переріз розсіювання. Передача енергії при парних зіткненнях.	Лекція 3 год	2, 4, 8	Визначення глибини та ймовірності виходу фотоелектронів з плівкового фотоелектронного емітера методом Спайсера	15-й тиж. семестру
15	Пружне розсіювання електронів атомами. Ефект Рамзауера. Непружні зіткнення. Іонізація атомів і молекул. Резонансне перезарядження атомів і іонів. Співудари другого роду. Іонізація електронним ударом. Самостійний і несамостійний газовий розряд. Теорія Таунсенда виникнення самостійного розряду. Види самостійного розряду.	Лекція 3 год	2, 4, 8	Дослідна перевірка закону Пашена	16-й тиж. семестру
16	Іонно-плазмова обробка поверхонь. Магнітогідродинамічні генератори. Плазма і проблеми керованого термоядерного синтезу. Прилади і пристрої плазмової електроніки. Іонні прилади обробки і відображення інформації. Висновки курсу.	Лекція 3 год	2, 4, 8	Заключне звітне заняття	До іспиту