

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 кафедри фізичної та
біомедичної електроніки
факультету електроніки та комп'ютерних
технологій

Львівського національного
університету імені Івана Франка
(протокол № 1 від 28 серпня 2024 р.)

Завідувач кафедри Олег БОРДУН



Силабус з навчальної дисципліни
«ФІЗИЧНА ЕЛЕКТРОНІКА»,
що викладається в межах ОПП «Електроніка та комп'ютерні
системи» першого (бакалаврського) рівня вищої освіти для
здобувачів з спеціальності 171 Електроніка

Львів 2024

| | |
|--|--|
| Назва дисципліни | Фізична електроніка |
| Адреса викладання дисципліни | м. Львів, вул. Драгоманова, 50 |
| Факультет та кафедра, за якою закріплена дисципліна | Факультет електроніки та комп'ютерних технологій, кафедра фізичної та біомедичної електроніки |
| Галузь знань, шифр та назва спеціальності | Галузь знань 17 Електроніка, автоматизація та електронні комунікації; спеціальність 171 Електроніка |
| Викладачі дисципліни | Максимич Віталій Миколайович, доктор філософії, асистент кафедри фізичної та біомедичної електроніки |
| Контактна інформація викладачів | vitalii.maksymych@lnu.edu.ua https://electronics.lnu.edu.ua/employee/maksymych-v-m/ факультет електроніки та комп'ютерних технологій, кафедра фізичної та біомедичної електроніки, вул. Драгоманова, 50, лаб.416 |
| Консультації з питань навчання по дисципліні відбуваються | 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. |
| Сторінка дисципліни | https://electronics.lnu.edu.ua/course/fizyczna-elektronika-2/ |
| Інформація про дисципліну | Дисципліна «Фізична електроніка» є вибірковою дисципліною з галузі знань 17 Електроніка, автоматизація та електронні комунікації, спеціальності 171 Електроніка, яка викладається у 5-му семестрі в обсязі 6 кредитів (за Європейською Кредитно-Трансферною Системою ECTS). |
| Коротка анотація дисципліни | Дисципліна «Фізична електроніка» охоплює фундаментальні фізичні принципи, що лежать в основі роботи сучасних електронних пристроїв та систем. Курс спрямований на вивчення процесів руху електронів у вакуумі, твердих тілах, газах і наноматеріалах, а також їх взаємодії з електричними, магнітними та електромагнітними полями. Особливу увагу приділено аналізу механізмів емісії електронів (термоелектронна, автоелектронна, вторинна) та їх застосуванню в електронних приладах, таких як вакуумні діоди, транзистори, електронно-променеві системи, сканувальні тунельні мікроскопи. Курс також охоплює вивчення магнітних і діелектричних властивостей матеріалів, наноструктур, квантових ефектів у електроніці, а також методів створення та застосування енергоефективних пристроїв і систем накопичення енергії нового покоління. |
| Мета та цілі дисципліни | Мета дисципліни «Фізична електроніка» полягає у формуванні цілісного розуміння фізичних принципів, які лежать в основі електронних процесів у різних середовищах (вакуум, гази, твердий стан) та їх практичному використанні для створення сучасних електронних пристроїв. Це включає: розуміння фундаментальних фізичних явищ, аналіз процесів взаємодії електронів із матеріалами. Цілі вивчення дисципліни передбачають забезпечити розвиток навичок роботи з експериментальним обладнанням для дослідження електронних властивостей; сприяти розвитку вмінь критичного аналізу наукової інформації та її практичного застосування; стимулювати використання наукового підходу для вирішення теоретичних і прикладних задач |

| Література для вивчення дисципліни | Рекомендована література |
|------------------------------------|---|
| | <p style="text-align: center;">Базова:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) С.М. Левитський.– <i>Фізична електроніка</i> / Київський національний університет ім. Т. Шевченка, 2005.– с. 153. 2) A. Evtukh, H. Hartnagel, O. Yilmazoglu, H. Mimura, D. Pavlidis.– <i>Vacuum nanoelectronic devices : novel electron sources and applications</i> / John Wiley & Sons, 2015.– P. 464. 3) В. О. Москалюк, В.І. Тимофєєв, Т.А. Саурова. – <i>Фізика електронних процесів</i> / Київ:КПІ ім.Ігоря Сікорського, 2020. – с. 324. 4) Д. М. Фреїк, В. М. Чобанюк, З. Ю. Готра та ін. – <i>Фізика процесів у напівпровідниках та елементах електроніки</i> / Івано-Франківськ: Видавництво Прикарпатського національного університету імені Василя Стефаника, 2010. – с. 263 5) Loutfy H. Madkour. – <i>Nanoelectronic Materials. Fundamentals and Applications</i> / Advanced Structured Materials, 2019. – P. 814. 6) John H. Davies. – <i>Physics of Low-Dimensional Semiconductors</i> / Cambridge University Press, 1998.– P. 458. 7) Donald A. Neamen. – <i>Semiconductor Physics and Devices: Basic Principles, fourth edition</i> / New York: University of New Mexico, 2017.– P. 784. 8) A. Banerjee. – <i>Semiconductor Devices: Diodes, Transistors, Solar Cells, Charge Coupled Devices and Solid State Lasers</i> / Springer, 2024. – P.299. 9) Gerd Czycholl. – <i>Solid State Theory, Volume 2</i> / Springer, 2023. – P. 390. 10) Edward Ramsden. – <i>Hall-Effect Sensors. Theory and application. Second Edition</i> / Elsevier, 2006. – P.265. 11) Maksymych, V., Calus, D., Ivashchyshyn, F., Pidluzhna, A., Chabecki, P., & Shvets, R. (2022). Quantum energy accumulation in semiconductor <ionic liquid> layered clathrates. <i>Applied Nanoscience (Switzerland)</i>. https://doi.org/10.1007/s13204-021-01763-11 12) Szymczykiewicz, E., Bordun, I., Maksymych, V., Klapchuk, M., Kohut, Z., Borysiuk, A., Kulyk, Y., Ivashchyshyn, F. <i>Charge Storage and Magnetic Properties Nitrogen-Containing Nanoporous Bio-Carbon</i> / Energies, 2024. https://doi.org/10.3390/en17040903 13) Maksymych, V., Calus, D., Seredyuk, B., Baryshnikov, G., Galagan, R.; Litvin, V., Bujnowski, S., Domanowski, P., Chabecki, P., Ivashchyshyn, F. <i>The Accumulation of Electrical Energy Due to the Quantum-Dimensional Effects and Quantum Amplification of Sensor Sensitivity in a Nanoporous SiO₂ Matrix Filled with Synthetic Fulvic Acid</i> / Sensors, 2023 https://doi.org/10.3390/s23084161 <p style="text-align: center;">Допоміжна:</p> <ol style="list-style-type: none"> 14) Ch. Kittel. – <i>Introduction to Solid State Physics, eighth edition</i> / University of California, Berkeley, 2005, P. 704. 15) Ben G. Streetman, Sanjay Banerjee / <i>Solid state electronic devices. Fifth edition.</i> – Prentice Hall, Inc. Hall Upper Saddle River, New Jersey. – P.562. <p style="text-align: center;">Методичне забезпечення:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) З. Стасюк, Р. Бігун, А. Бородчук, М. Козак, Б. Пенюх.– <i>Лабораторний практикум з фізичної електроніки</i> / Львів: Видавничий центр ЛНУ імені Івана Франка, 2009.– с. 261. |
| Обсяг курсу | Загальний обсяг курсу 180 годин; 96 годин аудиторних занять, з них 48 годин лекцій, 48 годин лабораторних робіт. Самостійної робота– 84 години. |

| <p>Очікувані результати навчання</p> | <p>Після завершення цього курсу студент буде:</p> <p>Знати:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Закони руху електронів у вакуумі, газах, діелектриках і напівпровідниках. 2. Основи взаємодії електронів з електричними та магнітними полями. 3. Фізичні основи роботи вакуумних діодів, тріодів, транзисторів, електронно-променевих приладів і сканувальних тунельних мікроскопів. <p>Вміти:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Проводити експерименти з урахуванням теоретичних аспектів. 2. Оцінювати вплив зовнішніх полів (електричного, магнітного) на електронні процеси в матеріалах. 3. Використовувати засвоєний матеріал для аналізу, прогнозування та пояснення принципів дії сучасних пристроїв електроніки. | | | | | |
|--|--|--|--|---------------------|---|---|
| <p>Ключові слова</p> | <p>Рух електрона в кристалі, електромагнітне поле, термоелектронна емісія, зонна структура кристалів, електровакуумні прилади.</p> | | | | | |
| <p>Формат курсу</p> | <p>Очний</p> | | | | | |
| <p></p> | <p>Проведення лекцій, лабораторних робіт та консультації для кращого розуміння та розкриття тем сучасної електроніки.</p> | | | | | |
| <p>Теми</p> | <p>Див. СХЕМА КУРСУ</p> | | | | | |
| <p>Підсумковий контроль, форма</p> | <p>Залік</p> | | | | | |
| <p>Пререквізити</p> | <p>Для вивчення дисципліни необхідні знання з дисциплін «Вища математика», «Фізичні основи електроніки», «Основи метрології та стандартизації», «Матеріали та компоненти сучасної електроніки».</p> | | | | | |
| <p>Навчальні методи та техніки, які будуть використовуватися під час викладання курсу</p> | <p>Презентації, демонстрації, лекції, лабораторні роботи, обговорення, дискусії, онлайн зустрічі, самостійна робота студентів над напрямками сучасної електроніки.</p> | | | | | |
| <p>Необхідне обладнання</p> | <p>Мультимедіа, платформа MS Teams, цифрові мультиметри, аналогові амперметри, джерело живлення В-24, блок живлення MR1502С, пірометр ВИМП-015М, лабораторні установки.</p> | | | | | |
| <p>Критерії оцінювання (окремо для кожного виду навчальної діяльності)</p> | <p>Оцінювання проводиться упродовж семестру за 100-бальною шкалою.</p> <p>Бали нараховуються за такими видами робіт з наступним співвідношенням:</p> <ul style="list-style-type: none"> • лабораторні роботи: 50 % семестрової оцінки, максимальна кількість балів 50. • дві контрольні роботи: 50 % семестрової оцінки, максимальна кількість балів 50. <p>Загалом упродовж семестру 100 балів.</p> <p>Кожна контрольна робота складається з 5 тестових питань (по 2 бали), 2 теоретичних питань (по 5 бали) та 1 задачі (5 бали). Загалом 25 балів. Контрольні роботи проводяться в письмовій формі.</p> <table border="1" data-bbox="576 1787 1519 2145"> <thead> <tr> <th data-bbox="576 1787 791 1973">Бали за відповідь на одне теоретичне питання</th> <th data-bbox="796 1787 1519 1973">Критерії оцінювання</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="576 1980 791 2145">5</td> <td data-bbox="796 1980 1519 2145">Відповіді, в яких навчальний матеріал відтворюється в повному обсязі, правильно, обґрунтовано, логічно, які містять аналіз і систематизацію, аргументовані висновки. Засвідчено глибоке володіння матеріалом.</td> </tr> </tbody> </table> | | Бали за відповідь на одне теоретичне питання | Критерії оцінювання | 5 | Відповіді, в яких навчальний матеріал відтворюється в повному обсязі, правильно, обґрунтовано, логічно, які містять аналіз і систематизацію, аргументовані висновки. Засвідчено глибоке володіння матеріалом. |
| Бали за відповідь на одне теоретичне питання | Критерії оцінювання | | | | | |
| 5 | Відповіді, в яких навчальний матеріал відтворюється в повному обсязі, правильно, обґрунтовано, логічно, які містять аналіз і систематизацію, аргументовані висновки. Засвідчено глибоке володіння матеріалом. | | | | | |

| | |
|-----|--|
| 3-4 | Відповіді, в яких відтворюється значна частина навчального матеріалу. Виявлено знання і розуміння основних положень навчальної дисципліни. |
| 2 | Відповіді, в яких основні положення навчального матеріалу відтворено на рівні заучування без достатнього його розуміння. |
| 1 | Відповіді, які засвідчують, що навчальний матеріал не засвоєно. Відсутність чіткого і логічного формулювання. |
| 0 | Не виконав. |

Оцінювання лабораторних робіт (10 лабораторних робіт, максимальна кількість балів 50) відбувається шляхом оцінки підготовки до виконання лабораторної роботи, безпосереднього її виконання та захисту звіту.

Бали оцінювання лабораторних робіт нараховуються за наступним співвідношенням:

0 балів– лабораторна робота не виконана; відсутній звіт, або звіт є, але містить значну кількість помилок та недоліків; завдання роботи не виконані, а знання студента щодо теми лабораторної роботи відсутні.

1-2 бали– лабораторна робота частково виконана, але з грубими помилками в обчисленнях, оформленні або аналізі результатів; звіт є, проте містить багато недоліків (неточні формулювання, відсутність пояснень до виконаних дій, недостатній аналіз результатів); відповідь на питання викладача з теми роботи поверхнева або неповна.

3-4 балів– лабораторна робота виконана з незначними помилками, які не впливають суттєво на результат; звіт оформлений, але є дрібні недоліки (наприклад, відсутність деяких пояснень або незначна плутанина у викладенні); студент демонструє базові знання теми, може пояснити основні етапи виконання роботи та інтерпретувати отримані результати.

5 балів– лабораторна робота виконана повністю, всі завдання виконані правильно; звіт оформлений відповідно до вимог: містить опис методики, результати, розрахунки, висновки; студент впевнено відповідає на запитання, демонструючи глибоке розуміння теми та вміння пояснити методику виконання роботи.

Академічна доброчесність: 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.

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. Студенти зобов'язані дотримуватися усіх термінів 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 її передачі третім особам. Студенти заохочуються до використання також й іншої літератури та джерел, яких немає серед

| | |
|--|--|
| | <p>рекомендованих.</p> <p>Політика виставлення балів. Враховуються бали набрані під час семестру та бали за контрольні роботи. 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. Жодні форми порушення академічної доброчесності не толеруються.</p> |
| <p>Питання до контрольних робіт</p> | <ol style="list-style-type: none"> 1) Фізична електроніка та її галузі застосування. 2) Основні види руху електронів у вакуумі. 3) Рівень Фермі. 4) Ефективна маса електрона. 5) Електронна хвиля. 6) Методи фокусування електронного пучка у вакуумі. 7) Особливості магнітного відхилення електронів. 8) Роль вакуумних діодів у розвитку електронної техніки. 9) Використання тріодів у підсилювачах сигналів. 10) Рух електронів у полях з осьовою симетрією. 11) Вплив параметрів лінз на фокусування електронів. 12) Застосування імерсійних лінз у мікроскопії. 13) Конструктивні особливості магнітних лінз. 14) Ефективність коротких магнітних лінз у приладах. 15) Використання автоелектронної емісії в мікроскопах. 16) Основні параметри роботи автоелектронного проектора. 17) Ефект Шоттки у напівпровідникових структурах. 18) Методи підвищення роботи виходу електронів у металах. 19) Механізм виникнення автоіонної емісії. 20) Вплив матеріалу катода на фотоелектронну емісію. 21) Застосування фотоэффекту в сенсорах світла. 22) Енергетичні характеристики фотоелектронів у вакуумі. 23) Особливості фотоэффекту в діелектриках. 24) Методи дослідження вторинної електронної емісії. 25) Залежність вторинної емісії від енергії первинних електронів. 26) Параметри взаємодії частинок у низькотемпературній плазмі. 27) Формування магнітного моменту в атомах. 28) Чинники, що впливають на діамагнетизм матеріалів. 29) Відмінності між парамагнетизмом і феромагнетизмом. 30) Магнітна пам'ять у феромагнітних матеріалах. 31) Сенсорні властивості магніторезистивних елементів. 32) Ефективність магніодіодів у сучасних приладах. 33) Технології виготовлення магнітних транзисторів. 34) Застосування ефекту Холла у вимірювальній техніці. 35) Фізичні властивості квантових точок. 36) Механізми електронної провідності у графені. 37) Структурні особливості вуглецевих нанотрубок. 38) Квантові ефекти у наносенсорах. 39) Енергетична ефективність квантових транзисторів. 40) Методи отримання наноструктурованих матеріалів. 41) Переваги інтеркаляційних композитів у накопичувачах енергії. 42) Роль наноматеріалів у створенні суперконденсаторів. 43) Перспективи використання квантових конденсаторів. 44) Особливості поляризації у наноматеріалах. 45) Ефективність термоелектричних матеріалів для генерації енергії. |

| | |
|-------------------|---|
| | 46) Роль явища Зеебека в енергетичних пристроях. 47) Конструкція сучасних нанотранзисторів. 48) Розробка матеріалів для енергоефективних пристроїв. 49) Механізми пробую діелектриків у високих полях. |
| Опитування | Анкету-оцінку з метою оцінювання якості курсу буде надано по завершенню курсу. |

СХЕМА КУРСУ

| Тиждень | Тема, план, короткі тези | Форма діяльності (заняття) | Література. Ресурси в Інтернеті | Завдання (3-годинні лабораторні заняття) | Термін виконання |
|---------|--|----------------------------|---------------------------------|--|-------------------|
| 1 | Лекція 1. Вступ до фізичної електроніки. Визначення та предмет фізичної електроніки. Історія розвитку фізичної електроніки. Застосування фізичної електроніки в техніці та науці. Сучасні напрями досліджень у фізичній електроніці. | Лекція | 1, 8 | Вступне заняття. Інструктаж з техніки безпеки. | 1-й тиж. семестру |
| 2 | Лекція 2. Елементи електронної будови твердого тіла. Хвильова функція. Зонна структура кристалів. Заповнення енергетичних зон електронами. | Лекція | 3, 4, 9 | Лабораторна робота №1. Вивчення вольтамперних характеристик вакуумного діода в ділянці обмеження струму просторовим зарядом | 2-й тиж. семестру |
| 3 | Лекція 3. Електронні процеси у вакуумі. Закони руху електронів у вакуумі. Рух електронів в електричному та магнітному полях. Електровакуумні прилади, їх класифікація. Електронні лампи. Електронно-променеві прилади. Основи роботи вакуумних діодів і тріодів. Застосування вакуумних приладів. | Лекція | 2, 3, 9 | Лабораторна робота №2. Вивчення термоелектронної емісії металів. | 3-й тиж. семестру |
| 4 | Лекція 4. 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 | 1, 2 | Проміжне звітне заняття. | 4-й тиж. семестру |
| 5 | Лекція 5. Типи електричних лінз. Характеристики електронних лінз. Коротка електростатична лінза. Імерсійні та поодинокі лінзи. Імерсійний об'єктив. Магнітні лінзи. Довга магнітна лінза. Коротка магнітна лінза. | Лекція | 1, 2 | Лабораторна робота №3. Вивчення короткої магнітної лінзи | 5-й тиж. семестру |

| | | | | | |
|----|--|--------|------------|--|--------------------|
| | Магніто-електричні лінзи. | | | | |
| 6 | Лекція 6. Термоелектронна емісія металів. Формула Річардсона-Дешмана. Вплив електричного поля на термоелектронну емісію металів. Ефект Шотткі. Робота виходу та методи її визначення. | Лекція | 1, 3, 7 | Лабораторна робота №4. Вивчення електростатичної відхилювальної системи | 6-й тиж. семестру |
| 7 | Лекція 7. Автоелектронна емісія. Автоелектронний мікроскоп-проектор. Механізми виникнення автоелектронної емісії. Енергетичний розподіл автоелектронів. Особливості автоелектронної емісії напівпровідників. Автоіонна емісія. Сканувальний тунельний мікроскоп. | Лекція | 1, 3, 4 | Проміжне звітне заняття. | 7-й тиж. семестру |
| 8 | Лекція 8. Фотоелектронна емісія. Види фотоэффекту. Елементарні закони зовнішнього фотоэффекту. Основні характеристики зовнішнього фотоэффекту. Вплив ефекту Шотткі на фотоэффект. Селективний фотоэффект. Особливості фотоелектронної емісії з металів. Енергетичний розподіл фотоелектронів. | Лекція | 1, 3, 4 | Лабораторна робота №5. Визначення роботи виходу електрона з металу методом контактної різниці потенціалів | 8-й тиж. семестру |
| 9 | Лекція 9. Фотоелектронна емісія напівпровідників і діелектриків. Механізми поглинання світла. Термоелектронна та фотоелектронна робота виходу напівпровідників та діелектриків. Ефективні фотокатооди. Контрольна робота №1. | Лекція | 3, 6, 7, 8 | Лабораторна робота №6. Вивчення короткої магнітної лінзи | 9-й тиж. семестру |
| 10 | Лекція 10. Вторинна електронна емісія. Основні параметри та характеристики вторинної електронної емісії. Особливості методики дослідження вторинної електронної емісії. Енергетичний спектр вторинних електронів. | Лекція | 1,3 | Лабораторна робота №7. Дослідження автоелектронної емісії. | 10-й тиж. семестру |
| 11 | Лекція 11. Елементарні процеси в низькотемпературній плазмі газового розряду. Зіткнення між атомними частинками. Види зіткнень, ймовірність зіткнення. Поперечний переріз розсіювання. Передача енергії при парних зіткненнях. | Лекція | 1, 3 | Лабораторна робота №8. Вивчення параметрів напівпровідників в магнітному полі. Дослідження ефекту Холла. | 11-й тиж. семестру |

| | | | | | |
|-------|--|--------|------------------|---|-----------------------|
| 12-13 | <p>Лекція 12-13. Магнітні властивості твердих тіл. Поняття про магнетики і величини, що їх характеризують. Магнітні моменти атомів. Атом у магнітному полі. Діамагнетики в однорідному магнітному полі. Діамагнетизм. Парамагнетизм. Феромагнетизм. Антиферомагнетизм. Феримагнетизм. Ефект Холла. Магнітоелектричні компоненти: генератор Холла, магніторезистор, магнітодіод, магніотранзистор.</p> | Лекція | 9, 10 | Проміжне звітне заняття | 12-13-й тиж. семестру |
| 14 | <p>Лекція 14. Наноструктури у фізичній електроніці. Квантові точки: формування та властивості. Графен і вуглецеві нанотрубки: електронні властивості. Квантові ефекти у наноелектроніці.</p> | Лекція | 5, 6, 11, 12, 13 | <p>Лабораторна робота №9. Дослідження магнітних властивостей феритів. Визначення точки Кюрі.</p> | 14-й тиж. семестру |
| 15 | <p>Лекція 15. Енергоєфективні електронні пристрої. Матеріали для пристроїв зберігання енергії нового покоління. Нанотранзистори: перспективи застосування. Квантові конденсатори. Інтеркаляційні методи тримання нових функціональних матеріалів.</p> | Лекція | 5, 6, 11, 12, 13 | <p>Лабораторна робота №10. Дослідження термоелектричних явищ у напівпровідниках</p> | 15-й тиж. семестру |
| 16 | <p>Лекція 16. Електронні процеси у діелектриках та напівпровідниках. Механізми поляризації у діелектриках. Електрична провідність діелектриків. Діелектрична міцність і пробій. Використання діелектриків у конденсаторах та ізоляторах. Термоелектричні явища. Явище Зеебека. Явище Пельтьє. Явище Томсона. Контрольна робота №2.</p> | Лекція | 7, 9 | Заключне звітне заняття. | 16-й тиж. семестру |