



# МІКРОХВИЛЬОВА СПЕКТРОСКОПІЯ ТВЕРДИХ ТІЛ

## Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

### Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	Другий (магістерський)
Галузь знань	15 Автоматизація та приладобудування <sup>1</sup>
Спеціальність	153 Мікро- та наносистемна техніка
Освітня програма	Мікро- та наносистемна техніка
Статус дисципліни	Нормативна
Форма навчання	Очна (денна)
Рік підготовки, семестр	1 курс, осінній семестр
Обсяг дисципліни	5 кредитів
Семестровий контроль/ контрольні заходи	Екзамен
Розклад занять	<a href="http://ipt.kpi.ua/">http://ipt.kpi.ua/</a>
Мова викладання	Українська, англійська
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лекції: д.ф-м.н., професор Поплавко Юрій Михайлович, Практичні: д.ф-м.н., професор Поплавко Юрій Михайлович, <a href="mailto:uroplavko@gmail.com">uroplavko@gmail.com</a>
Розміщення курсу	<a href="http://apd.ipt.kpi.ua/">http://apd.ipt.kpi.ua/</a> : Googleclassroom

### Програма навчальної дисципліни

#### 1. Опис навчальної дисципліни, її мета, предмет вивчення та результати навчання

Навчальна дисципліна «Мікрохвильова спектроскопія твердих тіл» належить до циклу професійної підготовки магістрів з прикладних інженерних предметів. Дисципліна базується на засадах основних фізичних моделей структури кристалів, зонної теорії, динаміки кристалічної ґратки закласти основи інженерного та наукового підходу до застосування кристалічних матеріалів у сучасних та майбутніх пристроях електроніки та приладобудування. Завданням навчальної дисципліни «Мікрохвильова спектроскопія твердих тіл» є формування у студентів не лише теоретичних, а й практичних навичок в дослідженні за спеціальністю мікроелектроніка та наноелектроніка, вироблення у студентів професійної орієнтації за освітньою-професійною програмою Мікро- та наносистемна техніка.

Метою навчальної дисципліни є формування у студентів компетентностей:

*Загальні компетентності СВО:*

ЗК 1. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.

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

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

ФК 4. Здатність брати участь у впровадженні результатів досліджень та розробок.

ФК 5. Здатність до постійного розвитку компетентностей у сфері мікроелектроніки інженерії та комп'ютерних технологій.

<sup>1</sup> В полях Галузь знань/Спеціальність/Освітня програма:

Для дисциплін професійно-практичної підготовки зазначається інформація відповідно до навчального плану.  
Для соціально-гуманітарних дисциплін вказується перелік галузей, спеціальностей, або «для всіх».

ФК 6. Здатність використовувати сучасні теоретичні уявлення в галузі фізики діелектриків для аналізу фізичних систем.

ФК 7. Здатність використовувати методи і засоби теоретичного дослідження та математичного моделювання в професійній діяльності.

Після засвоєння навчальної дисципліни студенти мають продемонструвати такі результати навчання:

- **знання** про особливості структури та симетрії твердих тіл, про можливі дефекти кристалічної структури та механізми електричних і магнітних процесів у твердих тілах, про зв'язок структури з електричними властивостями твердих тіл, про нанофізику і нанотехнологію;

- **уміння** щодо визначити основні механізми електропровідності, поляризації, намагнічування, фазових перетворень в твердих тілах, тощо;

- **досвід** з встановлення зв'язку між технологічними процесами отримання та обробки матеріалів та їх електрофізичними параметрами; практичного визначення основних електрофізичних параметрів електропереносу заряду, діелектричної поляризації, намагнічування, п'єзо- та піроелектричних ефектів та ін., що застосовуються в мікро- та наноелектроніці; розрахунків основних електрофізичних параметрів твердих тіл.

## **2. Пререквізити та постреквізити дисципліни (місце в структурно-логічній схемі навчання за відповідною освітньою програмою)**

Отримані практичні навички та засвоєні теоретичні знання під час вивчення навчальної дисципліни «Мікрохвильова спектроскопія твердих тіл» можна використовувати в подальшому в навчальних дисциплінах, пов'язаних з застосуванням тематичних фізико-технологічних досліджень.

Необхідні навички:

- дисципліна вимагає знань з загальних курсів фізики, математики, програмування, знань з методів проектування та розробки інформаційних систем, а також комплексних досліджень.

## **3. Зміст навчальної дисципліни**

Навчальна дисципліна містить семестровий кредитний модуль:

**Тема 1. Структура та симетрія твердих тіл.** 1.1. Природа хімічного зв'язку в твердих тілах 1.2. Дефекти структури кристалічної ґратки. 1.3. Елементи й операції симетрії, Класифікація кристалів за симетрією структури. 1.4. Зв'язок між симетрією і фізичними явищами. Принцип Кюрі Кристалографічна та кристалофізична установки кристала. Індeksi Міллера 1.5. Симетрія композитів 1.6. Нанокристалічні структури Особливості симетрії наночастинок.

**Тема 2. Електрони, фонони і магнони в кристалах.** Енергетичний спектр електронів в атомах і кристалах. Електрони в металах. Електрони у напівпровідниках. Динамічні властивості кристалічної ґратки. Фонони у напівпровідниках і діелектриках.

**Тема 3. Метали і магнетики.** Особливості металів. Електропровідність, кріопровідність теплопровідність і теплоємність металів. Магнітоопір. Особливі електронні стани в металах. Метали із проміжною валентністю та з «важкими ферміонами». Магнітно-невпорядковані речовини (діамагнетизм і парамагнетизм. Феромагнетизм, антиферомагнетизм, феримагнетизм.

**Тема 4. Фазові переходи.** Фазові переходи першого і другого роду. Фізичний зміст параметра порядку. Сегнетоелектричні й антисегнетоелектричні фазові переходи. Сегнетоеластичні фазові переходи. Критична зміна електропровідності в околі фазових переходів. Електронна провідність в околі фазового переходу «діелектрик – метал». Діелектрики з нестійким електронним спектром. Діелектрики з надпровідним фазовим переходом. Фазові переходи зі стрибком іонної провідності. Позисторний ефект у сегнето-напівпровідниках. Надпровідність у металах і сплавах. Фазові переходи у рідинних кристалах.

**Тема 5. Діелектрична спектроскопія.** Відмінність діелектриків від напівпровідників і металів. Поляризація діелектриків і взаємодія кристалів з електромагнітними хвилями. Механізми перенесення заряду в діелектриках. Діелектричні втрати, мікроскопічні механізми втрат. Основи діелектричної спектроскопії. Комплексна діелектрична проникність і електропровідність. і їх частотна дисперсія. Плазмовий резонанс. Модель релаксатора в діелектричній спектроскопії. Динамічний відгук осцилятора. Порівняння моделей дисперсії релаксатора та осцилятора. Ширококутова діелектрична спектроскопія. Особливості діелектричних спектрів. Опис

розширених спектрів релаксації та осцилятора. Дисперсія діелектричної проникності в сегнетоелектриках. Механізми поляризації, описані моделлю осцилятора. Механізми поляризації, описані релаксаційною моделлю. Міграційна (просторовий заряд) поляризація. Діелектрична релаксація в полімерах і композитах. Діелектрична спектроскопія мікрохвильових поглинаючих матеріалів. Вибрані приклади сегнетоелектриків діелектричних спектрів. Діелектричні спектри параелектриків, сегнетоелектриків типу порядку-безладу, сегнетоелектриків зміщення, антисегнетоелектриків, сегнетоелектриків, релаксорних сегнетоелектриків. Діелектричні спектри напівпровідників, іонних сполук, термостабільних діелектриків, плівок з високою проникністю

#### 4. Навчальні матеріали та ресурси

##### Базова література

1. Ю.М. Поплавко, Фізика твердого тіла. Том 1. Структура, квазічастинки, метали, магнетика, Київ, вид. «Інженірінг». Підручник, 2017, 415 с. / Затверджено Вченою Радою НТУУ КПІ (протокол № 5 15.05 2017 р.) (Електронна бібліотека каф. Мікроелектроніки)
2. Ю.М. Поплавко, Фізика твердого тіла. Том 2. Діелектрики, напівпровідники, фазові переходи, Київ, вид. «Інженірінг». Підручник, 2017, 379 с. / Затверджено Вченою Радою НТУУ КПІ (протокол № 5 15.05 2017 р.) (Електронна бібліотека каф. Мікроелектроніки).
3. Фізичне матеріалознавство [Електронний ресурс] : навчальний посібник / Ю. М. Поплавко, С. О. Воронов ; НТУУ «КПІ». – Електронні текстові дані (1 файл: 15,8 Кбайт). – Київ : НТУУ «КПІ», 2015. – 838 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/14029>
4. Фізичне матеріалознавство [Текст] : навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. / Ю. І. Якименко, С. О. Воронов, Ю. М. Поплавко ; Нац. техн. ун-т України "Київ. політехн. ін-т". - К.: НТУУ "КПІ". Ч. 1 : Перспективні напрями матеріалознавства. – 2011. - 300 с.
5. Фізичне матеріалознавство [Текст] : навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. / Ю. М. Поплавко, Л.П. Переверзєва, С.О. Воронов, Ю.І. Якименко; Нац. техн. ун-т України "Київ. політехн. ін-т". - К. : НТУУ "КПІ". Ч. 2 : Діелектрики. - 2007. – 392 с.
6. Фізичне матеріалознавство [Текст] : навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. / Ю. М. Поплавко, С.О. Воронов, Ю.І. Якименко; Нац. техн. ун-т України "Київ. політехн. ін-т". - К. : НТУУ "КПІ". Ч. 3 : Провідники та магнетика. - 2011. – 372 с.
7. Фізичне матеріалознавство [Текст] : навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. / Ю. М. Поплавко, В.І. Ільченко, С.О. Воронов, Ю.І. Якименко; Нац. техн. ун-т України "Київ. політехн. ін-т". - К. : НТУУ "КПІ". Ч. 4 : Напівпровідники. - 2011. - 333 с.

##### Допоміжна література

8. Yuriy M. Poplavko. Dielectric spectroscopy of electronic materials. Applied physics of dielectrics. 2021, 400 pages. Edited by ELSEVIER, USA
9. Yu.M. Poplavko. Solid state elementary electrophysics, Vol. 1 Symmetry, quasi-particles, metals, magnetism. Kyiv, Edited by Igor Sicorsky Polytechnic Institute, 2016, 364 p. / Tutorial approved by Academic Council of Igor Sicorsky Polytechnic Institute (protocol №11 of November 7, 2016).
10. Yu.M. Poplavko. Solid state elementary electrophysics, Vol. 2 Semiconductors, dielectrics, phase transitions. Kyiv, Edited by Igor Sicorsky Polytechnic Institute, 2016, 364 p. / Tutorial approved by Academic Council of Igor Sicorsky Polytechnic Institute (protocol №11 of November 7, 2016).
11. Yuriy M. Poplavko. Electronic materials. Principles and applied science. 2019, 683 p. Edited by ELSEVIER, USA.
12. Yu.M. Poplavko, Yu.I. Yakymenko. Functional dielectrics for electronics. Fundamentals of conversion properties. 2020, 294 pages. Edited by ELSEVIER, USA.

#### Навчальний контент

##### 5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

В рамках дисципліни заплановано наступні види навчальних занять:  
- лекції;

- практичні заняття;
- самостійна робота.

Теми дисципліни взаємозв'язані, матеріал вивчається в логічній послідовності. На заняттях розкриваються найбільш суттєві теоретичні питання, які дозволяють забезпечити студентам можливість глибокого самостійного вивчення всього програмного матеріалу. Теми та порядок виконання практичних занять сформовано в логічній послідовності і повністю узгоджуються з лекційним матеріалом. Теоретичні та практичні знання поглиблюються шляхом самостійної роботи з використанням рекомендованої літератури та інформаційних ресурсів мережі Internet.

На заняттях використовуються персональний комп'ютер, загальноживані комп'ютерні програми і операційні системи, проектор, інтерактивна дошка, інтернет-ресурси.

Контроль засвоєння навчального матеріалу здійснюється індивідуальним опитуванням (тестуванням), домашньою контрольною роботою та заліком.

### 5.1 Лекційні заняття

Семестровий (кредитний) модуль «Мікрохвильова спектроскопія твєдих тіл» 120 год.

№ з/п	Назва теми та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, завдання на СРС з посиланням на літературу)
1	<p><b>Тема 1. Структура та симетрія твердих тіл.</b> Природа хімічного зв'язку в твердих тілах. Дефекти структури кристалічної ґратки.. Елементи й операції симетрії, Класифікація кристалів за симетрією структури. Зв'язок між симетрією і фізичними явищами. Принцип Кюрі Кристалографічна та кристалофізична установки кристала. Індокси Міллера. Симетрія композитів. Нанокристалічні структури Особливості симетрії наночастинок. Література: [1 - 4], [9-12]. Завдання на СРС: Дослідження кристалічної ґратки. Типізація структури кристалів за симетрією. Встановлення зв'язку між симетрією і фізичними явищами. Особливості симетрії композитів, нанокристалів та наночасток.</p>
2	<p><b>Тема 2. Електрони, фонони і магнони в кристалах.</b> Енергетичний спектр електронів в атомах і кристалах. Електрони в металах. Електрони у напівпровідниках. Динамічні властивості кристалічної ґратки. Фонони у напівпровідниках і діелектриках. Література: [1 - 4], [9-12]. Завдання на СРС: Визначення енергетичного спектру електронів в атомах, кристалах, металах, напівпровідниках. Поняття динамічної властивості кристалічної ґратки, Характеристика фотонів.</p>
3	<p><b>Тема 3. Метали і магнетики.</b> Особливості металів. Електропровідність, кріопровідність теплопровідність і теплоємність металів. Магнітоопір. Особливі електронні стани в металах. Метали із проміжною валентністю та з «важкими ферміонами». Магнітно-невпорядковані речовини (діамагнетизм і парамагнетизм. Феромагнетизм, антиферомагнетизм, феримагнетизм. Література: [1 - 7], [8-19]. Завдання на СРС: Дослідження особливостей металів, їх електропровідності та теплопровідності. Визначення електронних властивостей металів, особливих електронних станів в металах.</p>

4	<p><b>Тема 4. Фазові переходи.</b> Фазові переходи першого і другого роду. Фізичний зміст параметра порядку. Сегнетоелектричні й антисегнетоелектричні фазові переходи. Сегнетоеластичні фазові переходи. Критична зміна електропровідності в околі фазових переходів. Електронна провідність в околі фазового переходу «діелектрик – метал». Діелектрики з нестійким електронним спектром. Діелектрики з надпровідним фазовим переходом. Фазові переходи зі стрибком іонної провідності. Позисторний ефект у сегнето-напівпровідниках. Надпровідність у металах і сплавах. Фазові переходи у рідинних кристалах.</p> <p>Література: [1 - 7], [8-12].</p> <p><i>Завдання на СРС:</i> Основні поняття фазових переходів. Характеристики переходів першого і другого роду. Встановлення фізичного змісту різного роду параметрів порядку. Визначення фазових переходів та критичної зміни їх електропровідності.</p> <p>Література: [1 - 7], [8-12].</p>
5	<p><b>Тема 5. Діелектрична спектроскопія.</b> Відмінність діелектриків від напівпро-відників і металів. Поляризація діелектриків.і взаємодія кристалів з електромагнітними хвилями. Механізми перенесення заряду в діелектриках. Діелектричні втрати, мікроскопічні механізми втрат. Основи діелектричної спектроскопії. Комплексна діелектрична проникність і електропровідність. і їх частотна дисперсія. Плазмовий резонанс. Модель релаксатора в діелектричній спектроскопії. . Динамічний відгук осцилятора. Порівняння моделей дисперсії релаксатора та осцилятора. Ширококутова діелектрична спектроскопія. Особливості діелектричних спектрів. Опис розширених спектрів релаксації та осцилятора. Дисперсія діелектричної проникності в сегнетоелектриках. Механізми поляризації, описані моделлю осцилятора. Механізми поляризації, описані релаксаційною моделлю. Міграційна (просторовий заряд) поляризація. Діелектрична релаксація в полімерах і композитах. Діелектрична спектроскопія мікрохвильових поглинаючих матеріалів. Вибрані приклади сегнетоелектриків діелектричних спектрів. Діелектричні спектри параелектриків, сегнетоелектриків типу порядку-безладу, сегнетоелектриків зміщення, антисегнетоелектриків, сегнетоелектриків, релаксорних сегнетоелектриків. Діелектричні спектри напівпровідників, іонних сполук, термостабільних діелектриків, плівок з високою проникністю</p> <p><i>Завдання на СРС:</i> Дослідження визначальних особливостей діелектриків та їх відмінностей від напівпровідників.Характеристика та класифікація механізмів поляризації діелектриків. Розрахунки діелектричних втрат Основні поняття фазових переходів. Характеристики переходів першого і другого роду. Встановлення фізичного змісту різного роду параметрів порядку. Визначення фазових переходів та критичної зміни їх електропровідності.</p>

## 5.2 Практичні заняття

Семестровий (кредитний) модуль **Основи фізичного матеріалознавства – ОФМ (28 год).**

№ з/п	<b>Назва теми та перелік основних питань</b> <i>(перелік дидактичних засобів, завдання на СРС з посиланням на літературу)</i>
1	<p><b>Тема 1. Структура та симетрія твердих тіл.</b> 1.1. Природа хімічного зв'язку в твердих тілах 1.2. Дефекти структури кристалічної ґратки. 1.3. Елементи й операції симетрії, Класифікація кристалів за симетрією структури. 1.4. Зв'язок між симетрією і фізичними явищами. Принцип Кюрі. Кристалографічна та кристалофізична установки кристала. Індекси Міллера 1.5. Симетрія композитів 1.6. Нанокристалічні структури Особливості симетрії наночастинок.</p>



2	<b>Тема 2. Електрони, фонони і магнони в кристалах.</b> 2.1. Енергетичний спектр електронів в атомах і кристалах. 2.2. Електрони в металах. 2.3. Електрони у напівпровідниках. 2.4. Динамічні властивості кристалічної ґратки. 2.5. Фонони у напівпровідниках і діелектриках.
3	<b>Тема 3. Метали.</b> 3.1 Особливості металів.3.2 Електропровідність металів (Основні співвідношення, Температурна залежність провідності, Частотна залежність провідності, Скін-ефект. Кріопровідність металів)3.3.Теплопровідність (Теплоємність Термоелектрорушійна сила Механізми переносу електричного заряду і теплоти в металах Ефект Холлу Магнітоопір. Час і довжина вільного пробігу електронів Механізми розсіювання електронів Зіткнення електронів . Перенос теплоти у металах). 3.4. Електронні властивості металів, поверхня Фермі (Класична електронна теорія металів, Квантовий розподіл в електронному газі, Зауваження по зонній теорії металів, Електрони металу – квазічастки, Вплив магнітного поля, Форма поверхні Фермі. Рухливість носіїв заряду). 3.5. Особливі електронні стани в металах (Метали с проміжною валентністю. Теплоємність металів з «важкими ферміонами». Магнітна сприйнятливність металів с «важкими ферміонами». Провідність металів з «важкими ферміонами». Зонна теорія і «важкі» ферміони. Надпровідність).
4	<b>Тема 4. Діелектрики.</b> 4.1. Визначальні особливості діелектриків (Діелектрики і метали. Діелектрики й напівпровідники. Основні особливості діелектриків. Відмінність діелектриків від металів і напівпровідників. Загальні та відмінні властивості діелектриків і напівпровідників). 4.2. Поляризація діелектриків (Механізми електричної поляризації. Взаємодія кристалів з електромагнітними хвилями. Електропровідність діелектриків). 4.3. Електропровідність діелектриків (Класифікація механізмів генерації носіїв заряду в діелектриках. Класифікація механізмів перенесення заряду в діелектриках. Нелінійна провідність в умовах інжекції носіїв заряду). 4.4. Діелектричні втрати і спектроскопія (Тангенс кута діелектричних втрат. Мікроскопічні механізми втрат. Діелектричні втрати на електропровідність. Діелектричні втрати у разі теплової поляризації. Діелектричні втрати у разі пружної поляризації. Діелектрична спектроскопія).
5	<b>Тема 5. Магнетики.</b> 5.1. Основні визначення. 5.2. Магнітно-невпорядковані речовини. Діамагнетизм. Парамагнетизм. 5.3. Магнетики с далеким магнітним порядком. 5.4. Феромагнетизм. Антиферомагнетизм феримагнетизм. 5.6. Магнони. 5.7. Магнітні напівпровідники і діелектрики 5.8. Магнітооптичні явища. Запам'ятовуючі пристрої. Магнітні напівпровідники. Спіновий польовий транзистор. Нано-фізика і магнетизм.
6	<b>Тема 6. Фазові переходи.</b> 6.1 Фазові переходи першого і другого роду. 6.2. Фізичний зміст параметра порядку. 6.3. Сегнетоелектричні й антисегнетоелектричні фазові переходи. 6.4. Сегнетоеластичні фазові переходи. 6.5. Критична зміна електропровідності в околі фазових переходів.6.6.Надпровідність у металах і сплавах.

### 6. Самостійна робота студента (СРС)

Семестровий (кредитний) модуль **Основи фізичного матеріалознавства – ОФМ (56 год).**

№ з/п	Назви тем і питань, що виноситься на самостійне опрацювання та посилання на навчальну літературу	Кількість годин СРС
1	<b>Тема 1. Структура та симетрія твердих тіл.</b> 1.1. Природа хімічного зв'язку в твердих тілах 1.2. Дефекти структури кристалічної ґратки. 1.3. Елементи й операції симетрії, Класифікація кристалів за симетрією структури. 1.4. Зв'язок між симетрією і фізичними явищами.Принцип Кюрі. Кристалографічна та кристалофізична установки кристала. Індеси Міллера 1.5. Симетрія композитів 1.6. Нанокристалічні структури Особливості симетрії наночастинок.	8

	<i>Завдання на СРС:</i> Дослідження кристалічної ґратки. Типізація структури кристалів за симетрією. Встановлення зв'язку між симетрією і фізичними явищами. Особливості симетрії композитів, нанокристалів та наночасток.	
2	<b>Тема 2. Електрони, фонони і магнони в кристалах.</b> 2.1. Енергетичний спектр електронів в атомах і кристалах. 2.2. Електрони в металах. 2.3. Електрони у напівпровідниках. 2.4. Динамічні властивості кристалічної ґратки. 2.5. Фонони у напівпровідниках і діелектриках <i>Завдання на СРС:</i> Визначення енергетичного спектру електронів в атомах, кристалах, металах, напівпровідниках. Поняття динамічної властивості кристалічної ґратки, Характеристика фотонів.	6
3	<b>Тема 3. Метали.</b> 3.1 Особливості металів. 3.2 Електропровідність металів (Основні співвідношення, Температурна залежність провідності, Частотна залежність провідності, Скін-ефект. Кріопровідність металів) 3.3. Теплопровідність (Теплоємність Термоелектрорушійна сила Механізми переносу електричного заряду і теплоти в металах Ефект Холлу Магнітоопір. Час і довжина вільного пробігу електронів Механізми розсіювання електронів Зіткнення електронів . Перенос теплоти у металах). 3.4. Електронні властивості металів, поверхня Фермі (Класична електронна теорія металів, Квантовий розподіл в електронному газі, Зауваження по зонній теорії металів, Електрони металу – квазічастки, Вплив магнітного поля, Форма поверхні Фермі. Рухливість носіїв заряду). 3.5. Особливі електронні стани в металах (Метали с проміжною валентністю. Теплоємність металів з «важкими ферміонами». Магнітна сприйнятливність металів с «важкими ферміонами». Провідність металів з «важкими ферміонами». Зонна теорія і «важкі» ферміони. Надпровідність). <i>Завдання на СРС:</i> Дослідження особливостей металів, їх електропровідності та теплопровідності. Визначення електронних властивостей металів, особливих електронних станів в металах.	14
4	<b>Тема 4. Діелектрики.</b> 4.1. Визначальні особливості діелектриків (Діелектрики і метали. Діелектрики й напівпровідники. Основні особливості діелектриків. Відмінність діелектриків від металів і напівпровідників. Загальні та відмінні властивості діелектриків і напівпровідників). 4.2. Поляризація діелектриків (Механізми електричної поляризації. Взаємодія кристалів з електромагнітними хвилями. Електропровідність діелектриків). 4.3. Електропровідність діелектриків (Класифікація механізмів генерації носіїв заряду в діелектриках. Класифікація механізмів перенесення заряду в діелектриках. Нелінійна провідність в умовах інжекції носіїв заряду). 4.4. Діелектричні втрати і спектроскопія (Тангенс кута діелектричних втрат. Мікроскопічні механізми втрат. Діелектричні втрати на електропровідність. Діелектричні втрати у разі теплової поляризації. Діелектричні втрати у разі пружної поляризації. Діелектрична спектроскопія). <i>Завдання на СРС:</i> Дослідження визначальних особливостей діелектриків та їх відмінностей від напівпровідників. Характеристика та класифікація механізмів поляризації діелектриків. Розрахунки діелектричних втрат.	12
5	<b>Тема 5. Магнетики.</b> 5.1. Основні визначення. 5.2. Магнітно-невпорядковані речовини. Діамагнетизм. Парамагнетизм. 5.3. Магнетики с далеким магнітним порядком. 5.4. Феромагнетизм. Антиферомагнетизм феримагнетизм. 5.6. Магнони. 5.7. Магнітні напівпровідники і діелектрики 5.8. Магнітооптичні явища. Запам'ятовуючі пристрої. Магнітні напівпровідники. Спіновий польовий транзистор. Нано-фізика і магнетизм. <i>Завдання на СРС:</i> Основні визначення магнетиків. Характеристика властивостей магнетиків. Дослідження структурних складових магнетиків.	8
6	<b>Тема 6. Фазові переходи.</b> 6.1 Фазові переходи першого і другого роду. 6.2. Фізичний зміст параметра порядку. 6.3. Сегнетоелектричні й антисегнетоелектричні фазові переходи. 6.4. Сегнетоеластичні фазові переходи. 6.5. Критична зміна електропровідності в околі фазових	8

переходів.6.6.Надпровідність у металах і сплавах. <i>Завдання на СРС:</i> Основні поняття фазових переходів. Характеристики переходів першого і другого роду. Встановлення фізичного змісту різного роду параметрів порядку. Визначення фазових переходів та критичної зміни їх електропровідності.	
--	--

## Політика та контроль

### 7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Семестровий (кредитний) модуль **Фізика фазових переходів та діелектрична спектроскопія**

#### Відвідування занять

Студентам рекомендується відвідувати заняття. Система оцінювання орієнтована на отримання балів за активність студента, а також виконання завдань, які здатні розвинути практичні уміння та навички. Відсутність на практичних заняттях, без поважних причин штрафується від'ємними балами.

#### Порушення термінів виконання завдань та заохочувальні бали

Заохочувальні бали		Штрафні бали	
Критерій	Ваговий бал	Критерій	Ваговий бал
Участь у міжнародних, всеукраїнських та/або інших заходах та/або конкурсах (за тематикою навчальної дисципліни)	5-10 балів в залежності від місця, яке зайняв	Порушення термінів експрес-опитування	- 2 бали
Виступ на занятті з ініціативною доповіддю на обрану творчу тему за програмою дисципліни	5 балів	Порушення термінів виконання тестування	-5 балів
Відповіді на завдання з використанням англійської мови	5 балів	Порушення термінів виконання домашньої контрольної роботи та її захисту (за кожну таку роботу)	-2 бали

#### Пропущені контрольні заходи

Результат залікової контрольної роботи для студента, який не з'явився на контрольний захід, є нульовим. У такому разі, студент має можливість написати залікову контрольну роботу, але максимальний бал за неї буде дорівнювати 50% від загальної кількості балів. Повторне написання залікової контрольної роботи не допускається.

#### Академічна доброчесність

Політика та принципи академічної доброчесності визначені у розділі 3 Кодексу честі Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». Детальніше: <https://kpi.ua/code>.

#### Норми етичної поведінки

Норми етичної поведінки студентів і працівників визначені у розділі 2 Кодексу честі Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». Детальніше: <https://kpi.ua/code>.

#### Процедура оскарження результатів контрольних заходів

Студенти мають можливість підняти будь-яке питання, яке стосується процедури контрольних заходів та очікувати, що воно буде розглянуто згідно із наперед визначеними процедурами.



Студенти мають право оскаржити результати контрольних заходів, але обов'язково аргументовано, пояснивши з яким критерієм не погоджуються відповідно до оціночного листа та/або зауважень.

## 8. Види контролю та рейтингова система оцінювання результатів навчання (PCO)

Семестровий (кредитний) модуль **Основи фізичного матеріалознавства – ОФМ.**

*Поточний контроль:* тестування (експрес-опитування), домашня контрольна робота.

*Календарний контроль:* атестація проводиться двічі на семестр як моніторинг поточного стану виконання вимог програми.

Критерій		Перша атестація	Друга атестація	
Термін атестації <sup>2</sup>		8-ий тиждень	14-ий тиждень	
Поточний рейтинг <sup>3</sup>		≥ 10 балів	≥ 30 балів	
Умови отримання атестації	Поточний контрольний захід	Тестування 1-2	+	-
	Поточний контрольний захід	Домашня контрольна робота 1	+	-
	Поточний контрольний захід	Тестування 3-8	-	+
	Поточний контрольний захід	Домашня контрольна робота 2	-	+

**Семестровий контроль:** залік

*Умови допуску до семестрового контролю:*

Обов'язкові:

- Виконані тести
- Виконані домашні контрольні роботи
- Поточний рейтинг RD ≥ 30 балів.

Необов'язкові:

- Активність на заняттях.
- Позитивний результат першої атестації та другої атестації.

**Система рейтингових балів:**

1. Тести. Максимальна кількість балів – 40. Тестування за темами дисципліни здійснюється на основі тестів і залежить від тривалості контрольного заходу (5-10 хвилин). Кожний блок тестів відповідає вимогам змістової характеристики теоретичних тем.

2. Домашня контрольна робота. Максимальна кількість балів – 20.

- вичерпна відповідь – 18 – 20 балів;
- відповідь з незначними неточностями – 15-17 балів;
- неповна відповідь та незначні помилки – 9 – 14 балів;
- грубі помилки – 5-8
- незадовільна відповідь – 0 балів.

3. Залік. Максимальна кількість балів – 40.

Умовою допуску до семестрового контролю є виконання усіх поточних контрольних заходів та рейтинг більший за 30 балів. На останньому за розкладом занятті проводиться семестрова атестація у вигляді письмової залікової роботи.

<sup>2</sup> Там само.

<sup>3</sup> Там само.

Студенти, які отримали за рейтингом позитивну оцінку (набрали протягом семестру не менше ніж 60 балів ( $RD \geq 30$ )), можуть бути атестовані за цими балами без написання контрольної роботи.

Студенти, які отримали менше 60 балів, виконують контрольну роботу і захищають її у вигляді співбесіди. У цьому разі рейтингова оцінка складається з результатів роботи в семестрі ( $RD \geq 30$  балів) та результатів контрольної роботи

Якщо залікова контрольна робота не може бути позитивно оцінена, то сумарна рейтингова оцінка залишається незмінною.

- вичерпна відповідь – 35 – 40 балів;
- відповідь з незначними помилками – 25-34 балів;
- неповна відповідь та незначні помилки – 15 – 24 балів;
- грубі помилки – 5-14
- незадовільна відповідь – 0 балів.

#### Розрахунок шкали рейтингу:

№ з/п	Контрольний захід	%	Ваговий бал	Кіл-ть	Всього
1.	Тестування (експрес-опитування)	20	5	8	40
2.	Виконання та захист домашніх контрольних робіт (ДКР)	20	10	2	20
3.	Залік	40	40	1	40
	Всього				100

#### Таблиця відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою:

Кількість балів	Оцінка
100-95	Відмінно
94-85	Дуже добре
84-75	Добре
74-65	Задовільно
64-60	Достатньо
Менше 60	Незадовільно
Не виконані умови допуску	Не допущено

### 9. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)

Семестровий (кредитний) модуль **Основи фізичного матеріалознавства – ОФМ.**

#### Завдання екзамену відповідають наступним питанням:

- Природа хімічного зв'язку в твердих тілах
- Дефекти структури кристалічної ґратки
- Елементи й операції симетрії
- Класифікація кристалів за симетрією структури
- Зв'язок між симетрією і фізичними явищами
- Принцип Кюрі
- Кристалографічна та кристалофізична установки кристала
- Індекси Міллера
- Симетрія композитів
- Нанокристалічні структури
- Особливості симетрії наночастинок.
- Енергетичний спектр електронів в атомах і кристалах
- Електрони в металах
- Електрони у напівпровідниках.

- Динамічні властивості кристалічної ґратки
- Фонони у напівпровідниках і діелектриках
- Особливості металів
- Електропровідність металів та основні співвідношення
- Температурна залежність провідності
- Частотна залежність провідності
- Скін-ефект
- Кріопровідність металів
- Теплопровідність - основні поняття
- Теплоємність
- Термоелектрорушійна сила
- Механізми переносу електричного заряду і теплоти в металах
- Ефект Холлу
- Магнітоопір
- Час і довжина вільного пробігу електронів
- Механізми розсіювання електронів
- Зіткнення електронів
- Перенос теплоти у металах
- Електронні властивості металів, поверхня Фермі
- Класична електронна теорія металів
- Квантовий розподіл в електронному газі
- Зауваження по зонній теорії металів
- Електрони металу – квазічастки
- Вплив магнітного поля
- Форма поверхні Фермі
- Рухливість носіїв заряду
- Особливі електронні стани в металах
- Метали с проміжною валентністю
- Теплоємність металів з «важкими ферміонами»
- Магнітна сприйнятливність металів с «важкими ферміонами»
- Провідність металів з «важкими ферміонами»
- Зонна теорія і «важкі» ферміони
- Надпровідність
- Визначальні особливості діелектриків
- Діелектрики і метали
- Діелектрики й напівпровідники
- Основні особливості діелектриків.
- Відмінність діелектриків від металів і напівпровідників
- Загальні та відмінні властивості діелектриків і напівпровідників)
- Механізми електричної поляризації
- Взаємодія кристалів з електромагнітними хвилями
- Електропровідність діелектриків
- Загальна характеристика електропровідності діелектриків
- Класифікація механізмів генерації носіїв заряду в діелектриках
- Класифікація механізмів перенесення заряду в діелектриках
- Нелінійна провідність в умовах інжекції носіїв заряду
- Діелектричні втрати і спектроскопія
- Тангенс кута діелектричних втрат
- Мікроскопічні механізми втрат
- Діелектричні втрати на електропровідність
- Діелектричні втрати у разі теплової поляризації
- Діелектричні втрати у разі пружної поляризації
- Діелектрична спектроскопія
- Основні визначення магнетиків
- Магнітно-непорядковані речовини

- Діамагнетизм
- Парамагнетизм
- Магнетики с далеким магнітним порядком
- Феромагнетизм
- Антиферомагнетизм феримагнетизм
- Загальна характеристика магнітів
- Магнітні напівпровідники і діелектрики
- Магнітооптичні явища.
- Запам'ятовуючі пристрої
- Магнітні напівпровідники
- Спіновий польовий транзистор
- Нано-фізика і магнетизм
- Фазові переходи першого і другого роду
- Фізичний зміст параметра порядку
- Сегнетоелектричні й антисегнетоелектричні фазові переходи
- Сегнетоеластичні фазові переходи
- Критична зміна електропровідності в околі фазових переходів
- Надпровідність у металах і сплавах

**Робочу програму навчальної дисципліни (Силабус):**

**Складено** д.ф.-м.н, професором **Поплавко Юрієм Михайловичем**

**Ухвалено** кафедрою мікроелектроніки (протокол № 19 від 15.06.2022)

**Погоджено** методичною комісією ФЕЛ (протокол № 06/2022-1 від 28.06.2022)