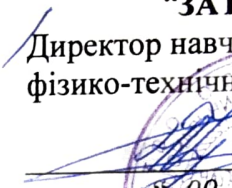


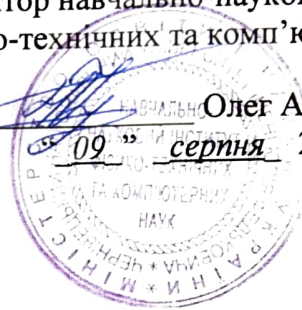
**Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича**  
**Навчально-науковий інститут фізико-технічних та комп'ютерних наук**

**Кафедра інформаційних технологій та комп'ютерної фізики**

**“ЗАТВЕРДЖУЮ”**

Директор навчально-наукового інституту  
фізико-технічних та комп'ютерних наук

 **Олег АНГЕЛЬСЬКИЙ**  
“09” серпня 2024 року



**РОБОЧА ПРОГРАМА**  
навчальної дисципліни

**ЕЛЕМЕНТИ ТЕОРІЇ НАПІВПРОВІДНИКІВ**  
обов'язкова

Освітньо-професійна програма «Фізика та астрономія»

Спеціальність 104 Фізика та астрономія

Галузь знань 10 Природничі науки

Рівень вищої освіти перший бакалаврський

Мова навчання українська

Робоча програма навчальної дисципліни «ЕЛЕМЕНТИ ТЕОРІЇ НАПІВПРОВІДНИКІВ» складена відповідно до освітньо-професійної програми першого (бакалаврського) рівня вищої освіти «Фізика та астрономія» за спеціальністю 104 - Фізика та астрономія галузі знань 10 - Природничі науки, затвердженої Вченою радою Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича (Протокол № 7 від «30» червня 2021 року).

Розробник: Войцехівська Оксана Миколаївна, доцент кафедри інформаційних технологій та комп'ютерної фізики, кандидат фіз.-мат. наук, доцент.

Викладач: Войцехівська Оксана Миколаївна, доцент кафедри інформаційних технологій та комп'ютерної фізики, кандидат фіз.-мат. наук, доцент.

Погоджено з гарантом ОПП і затверджено на засіданні кафедри інформаційних технологій та комп'ютерної фізики

Протокол № 1 від “ 08 ” серпня 2024 року

Завідувачка кафедри ІТКФ  Борча М.Д.

Схвалено методичною радою навчально-наукового інституту фізико-технічних та комп'ютерних наук

Протокол № 1 від “ 09 ” серпня 2024 року

Голова методичної ради ННІФТКН  Козарський І.П.

### Пояснювальна записка

**Метою навчальної дисципліни** “Елементи теорії напівпровідників” є ґрунтовне теоретичне ознайомлення з фізичними закономірностями формування енергетичного спектру напівпровідників, електричними, магнітними та оптичними характеристиками напівпровідникових матеріалів та приладів, створених на їх основі.

**Завданням вивчення навчальної дисципліни** “Елементи теорії напівпровідників” є розуміння здобувачами освіти фізичних процесів та властивостей напівпровідникових матеріалів, які використовуються у сучасних приладах мікро- і нано-електроніки.

**Пререквізити:** курси вищої математики: “Математичний аналіз”, “Аналітична геометрія та лінійна алгебра”, “Основи векторного і тензорного аналізу”, “Методи математичної фізики” “Електрика і магнетизм”, “Основи електроніки”, “Основи кристалофізики”, “Основи матеріалознавства”, “Електродинаміка”.

**Постреквізити:** “Квантова механіка”, “Квантова теорія твердого тіла”, “Основи фізики конденсованого стану” та інші спеціалізовані курси вибіркової компоненти.

#### Результати навчання:

**знати:** класифікацію напівпровідників, їх оптичні, електричні та магнітні властивості, які використовуються у сучасних приладах, в тому числі – низькорозмірних структурах. Студенти повинні мати чіткі уявлення про фізичну природу явищ у напівпровідникових матеріалах.

**вміти:** застосовувати отримані знання для встановлення, тлумачення, пояснення і класифікації суті та механізмів різноманітних фізичних явищ і процесів у напівпровідникових матеріалах і приладах на їх основі, використовувати нові методи діагностики структури напівпровідникових матеріалів та їх фізичних властивостей з урахуванням розвитку експериментальної бази і нових потреб нанотехнологій, зокрема, для визначення оптичних, електричних, теплових, фотоелектричних характеристик напівпровідникових матеріалів.

#### Програмні результати навчання:

**ПР1.** Знати, розуміти та вміти застосовувати основні положення загальної та теоретичної фізики, зокрема, класичної, релятивістської та квантової механіки, молекулярної фізики та термодинаміки, електромагнетизму, хвильової та квантової оптики, фізики атома та атомного ядра для встановлення, аналізу, тлумачення, пояснення і класифікації суті та механізмів різноманітних фізичних явищ і процесів для розв’язування складних спеціалізованих задач та практичних проблем з фізики та астрономії.

**ПР3.** Знати і розуміти експериментальні основи фізики: аналізувати, описувати, тлумачити та пояснювати основні експериментальні підтвердження існуючих фізичних теорій.

**ПР8.** Мати базові навички самостійного навчання: вміти відшукувати потрібну інформацію в друкованих та електронних джерелах, аналізувати, систематизувати, розуміти, тлумачити та використовувати її для вирішення наукових і прикладних завдань.

**ПР13.** Розуміти зв’язок фізики та астрономії з іншими природничими та інженерними науками, бути обізнаним з окремими (відповідно до спеціалізації) основними поняттями прикладної фізики, матеріалознавства, інженерії, хімії, біології тощо, а також з окремими об’єктами (технологічними процесами) та природними явищами, що є предметом дослідження інших наук і, водночас, можуть бути предметами фізичних або астрономічних досліджень.

**ПР22.** Розуміти значення фізичних досліджень для забезпечення сталого розвитку суспільства.

**ПР23.** Розуміти історію та закономірності розвитку фізики та астрономії.

**ПР24.** Розуміти місце фізики та астрономії у загальній системі знань про природу і суспільство та у розвитку суспільства, техніки і технологій.

#### Загальні компетентності

**ІК.** Здатність розв’язувати складні спеціалізовані задачі та практичні проблеми з фізики та астрономії у професійній діяльності або у процесі подальшого навчання, що передбачає застосування певних теорій і методів фізики та астрономії і характеризується комплексністю та невизначеністю умов.

**ЗК1.** Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу.

**ЗК7.** Навички здійснення безпечної діяльності.

**ЗК10.** Прагнення до збереження навколишнього середовища.

**Фахові компетентності.**

**ФК1.** Знання і розуміння теоретичного та експериментального базису сучасної фізики та астрономії.

**ФК2.** Здатність використовувати на практиці базові знання з математики як математичного апарату фізики і астрономії при вивченні та дослідженні фізичних та астрономічних явищ і процесів.

**ФК3.** Здатність оцінювати порядок величин у різних дослідженнях, так само як точності та значимості результатів.

**ФК4.** Здатність працювати із науковим обладнанням та вимірювальними приладами, обробляти та аналізувати результати досліджень.

**ФК5.** Здатність виконувати обчислювальні експерименти і використовувати чисельні методи для розв'язування фізичних та астрономічних задач і моделювання фізичних систем.

**ФК6.** Здатність моделювати фізичні системи та астрономічні явища і процеси.

**ФК7.** Здатність використовувати базові знання з фізики та астрономії для розуміння будови та поведінки природних і штучних об'єктів, законів існування та еволюції Всесвіту.

**ФК10.** Здатність самостійно навчатися і опановувати нові знання з фізики, астрономії та суміжних галузей.

**ФК13.** Орієнтація на найвищі наукові стандарти – обізнаність щодо фундаментальних відкриттів та теорій, які суттєво вплинули на розвиток фізики, астрономії та інших природничих наук.

**ФК14.** Здатність здобувати додаткові компетентності через вибіркові складові освітньої програми, самоосвіту, неформальну та інформальну освіту

**Опис змісту робочої програми навчальної дисципліни****Загальна інформація**

| Назва навчальної дисципліни «Елементи теорії напівпровідників» |                |         |           |       |                   |                 |           |             |             |                   |                        |                           |
|----------------------------------------------------------------|----------------|---------|-----------|-------|-------------------|-----------------|-----------|-------------|-------------|-------------------|------------------------|---------------------------|
| Форма навчання                                                 | Рік підготовки | Семестр | Кількість |       |                   | Кількість годин |           |             |             |                   |                        | Вид підсумкового контролю |
|                                                                |                |         | кредитів  | годин | змістових модулів | лекції          | практичні | семінарські | лабораторні | самостійна робота | індивідуальні завдання |                           |
| Денна                                                          | 3              | 6       | 5,5       | 165   |                   | 45              |           | 30          | -           | 95                |                        | екзамен                   |

**Структура змісту навчальної дисципліни**

| Назви змістових модулів і тем                                           | Кількість годин |              |      |      |      |      |
|-------------------------------------------------------------------------|-----------------|--------------|------|------|------|------|
|                                                                         | денна форма     |              |      |      |      |      |
|                                                                         | усього          | у тому числі |      |      |      |      |
|                                                                         |                 | л            | сем. | лаб. | інд. | с.р. |
| 1                                                                       | 2               | 3            | 4    | 5    | 6    | 7    |
| <b>Змістовий модуль 1.</b>                                              |                 |              |      |      |      |      |
| <b>Тема 1.</b> Визначальні особливості і класифікація напівпровідників. |                 | 7            | 4    |      |      | 12   |
| <b>Тема 2.</b> Елементи зонної теорії напівпровідників.                 |                 | 6            | 4    |      |      | 13   |
| <b>Тема 3.</b> Власні і леговані напівпровідники.                       |                 | 6            | 4    |      |      | 10   |
| <b>Тема 4.</b> Кінетичні процеси у напівпровідниках.                    |                 | 6            | 3    |      |      | 10   |
| <b>Разом за ЗМ1</b>                                                     |                 | 25           | 15   |      |      | 45   |

| <b>Змістовий модуль 2.</b>                                                               |            |           |           |  |  |            |
|------------------------------------------------------------------------------------------|------------|-----------|-----------|--|--|------------|
| <b>Тема 5.</b> Оптичні властивості напівпровідників.                                     |            | 6         | 2         |  |  | 10         |
| <b>Тема 6.</b> Напівпровідники у магнітних полях.                                        |            | 6         | 2         |  |  | 10         |
| <b>Тема 7.</b> Практичне застосування напівпровідників.                                  |            | 4         | 12        |  |  | 20         |
| <b>Тема 8.</b> Сучасні напівпровідникові прилади: квантові каскадні лазери та детектори. |            | 4         | 4         |  |  | 10         |
| <b>Разом за ЗМ2</b>                                                                      |            | <b>20</b> | <b>20</b> |  |  | <b>50</b>  |
| <b>Усього годин</b>                                                                      | <b>165</b> | <b>45</b> | <b>30</b> |  |  | <b>105</b> |

#### Теми лекційних занять

| № з/п    | Назва теми                                                                                                                                                                | Кількість годин |
|----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|
| <b>1</b> | <b>Визначальні особливості і класифікація напівпровідників.</b>                                                                                                           | <b>7</b>        |
|          | 1.1 Класифікація напівпровідників.                                                                                                                                        | 2               |
|          | 1.2 Моноелементні напівпровідники. Хімічні н/п сполуки (бінарні, потрійні)                                                                                                | 3               |
|          | 1.3 Аморфні та оксидні н/п матеріали.                                                                                                                                     | 2               |
| <b>2</b> | <b>Елементи зонної теорії напівпровідників.</b>                                                                                                                           | <b>6</b>        |
|          | 2.1 Адіабатичне та одноелектронне наближення.                                                                                                                             | 2               |
|          | 2.2 Дозволені і заборонені зони енергій. Хвиля Блоха. Квазіімпульс.                                                                                                       | 2               |
|          | 2.3 Енергетичний спектр електронів. Локалізовані стани. Наповнення дозволених зон. Ефективна маса.                                                                        | 2               |
| <b>3</b> | <b>Власні і леговані напівпровідники.</b>                                                                                                                                 | <b>6</b>        |
|          | 3.1 Власні н/п, їх характеристики. Генерація і рекомбінація. Концентрація електронів і дірок у н/п.                                                                       | 2               |
|          | 3.2 Леговані н/п.                                                                                                                                                         | 2               |
|          | 3.3 Донори та акцептори.                                                                                                                                                  | 2               |
| <b>4</b> | <b>Кінетичні процеси у напівпровідниках.</b>                                                                                                                              | <b>6</b>        |
|          | 4.1 Електропровідність. Генерація і рекомбінація носіїв заряду. Розсіювання носіїв заряду. Рухливість електронів і дірок. Рівень Фермі. Н/п у сильному електричному полі. | 2               |
|          | 4.2 Теплопровідність (біполярна, фотонна, екситонна).                                                                                                                     | 2               |
|          | 4.3 Термоелектрика. Ефект Зеебека. Ефект Томсона).                                                                                                                        | 2               |
| <b>5</b> | <b>Оптичні властивості напівпровідників.</b>                                                                                                                              | <b>6</b>        |
|          | 5.1 Коефіцієнт відбиття та поглинання.                                                                                                                                    | 2               |
|          | 5.2 Зовнішній фотоефект, фотолюмінісценція, внутрішній (фоторезистивний ефект).                                                                                           | 2               |
|          | 5.3 Фотовольтаїчний ефект. Поглинання світла.                                                                                                                             | 2               |
| <b>6</b> | <b>Напівпровідники у магнітних полях.</b>                                                                                                                                 | <b>6</b>        |
|          | 6.1 Гальваноманітні ефекти.                                                                                                                                               | 2               |
|          | 6.2 Ефект Холла. Манітоопір.                                                                                                                                              | 2               |
|          | 6.3 Поперечний та поздовжній гальванотермоманітний ефект. Термоманітні ефекти.                                                                                            | 2               |
| <b>7</b> | <b>Практичне застосування напівпровідників.</b>                                                                                                                           | <b>4</b>        |
|          |                                                                                                                                                                           |                 |
| <b>8</b> | <b>Сучасні напівпровідникові прилади: квантові каскадні лазери та детектори.</b>                                                                                          | <b>4</b>        |

### Теми семінарських занять

| № | Назва теми                                               | Кількість годин |
|---|----------------------------------------------------------|-----------------|
| 1 | Визначальні особливості і класифікація напівпровідників. | 4               |
| 2 | Елементи зонної теорії напівпровідників.                 | 4               |
| 3 | Власні і леговані напівпровідники.                       | 4               |
| 4 | Кінетичні процеси у напівпровідниках.                    | 3               |
| 5 | Оптичні властивості напівпровідників.                    | 2               |
| 6 | Напівпровідники у магнітних полях.                       | 2               |
| 7 | Практичне застосування напівпровідників.                 | 12              |
|   | 7.1 Теорія р-п переходу. Діод та його характеристики.    | 2               |
|   | 7.2 Сигнальний діод. Вмикаючий та силовий діод.          | 2               |
|   | 7.3 Світловипромінюючий діод (LED).                      | 2               |
|   | 7.4 Діод Зенера. Регулятор напруги.                      | 2               |
|   | 7.5 Сонячні панелі.                                      | 2               |
|   | 7.6 Діод Шоткі.                                          | 2               |
| 8 | Сучасні напівпровідникові прилади                        | 4               |
|   | 8.1 Квантові каскадні лазери.                            | 2               |
|   | 8.2 Квантові каскадні детектори.                         | 2               |

### Зміст завдань для самостійної роботи

| № з/п | Назва теми                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |    |
|-------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1     | <b>Визначальні особливості і класифікація напівпровідників.</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 12 |
| 2     | <b>Зонна структура твердого тіла. Метали, напівпровідники та діелектрики.</b><br>Метали, напівпровідники та діелектрики, особливості їх зонної структури. Ефективна маса. Зонна структура напівпровідника. Вузькозонні та широкозонні напівпровідники. Електрони та дірки як елементарні збудження багатоелектронної системи в напівпровіднику. Екситони. Механізми рекомбінації.<br>Рівень Фермі у власному напівпровіднику. Напівпровідник з домішкою одного типу. Взаємна компенсація донорів та акцепторів. Компенсовані напівпровідники.<br>Класифікація твердих тіл за типом одночастинкового спектру. | 13 |
| 3     | <b>Власні і леговані напівпровідники</b><br>Власні напівпровідники. Генерація і рекомбінація. Концентрація електронів і дірок у власному напівпровіднику. Леговані напівпровідники. Донори та акцептори.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 10 |
| 4     | <b>Кінетичні процеси у напівпровідниках</b><br>Елементи кінетичної теорії явищ переносу. Нерівноважні електрони та дірки. Час життя нерівноважних носіїв заряду. рівняння неперервності. Фотопровідність. Квазірівні Фермі. Електрон-діркові переходи. Амбіполярні дифузія та дрейф. Довжини дифузії та дрейфу, р-п і n-p переходи. Випростовування і підсилення змінних струмів за допомогою р-п-переходів. Вольт-амперна характеристика р-п-переходів. Тунельний ефект в р-п-переходах. Гетеропереходи. Вплив поверхневого потенціалу на електропровідність. Ефект поля. Польові транзистори.              | 10 |

|   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |    |
|---|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 5 | <b>Оптичні властивості напівпровідників.</b><br>Оптичні властивості твердих тіл, зв'язані з прямими і непрямыми міжзонними переходами електронів. Люмінесценція кристалів. Природа і закономірності теплового випромінювання. Флюоресценція і фосфоресценція, фотолюмінесценція і електролюмінесценція - основні закономірності і основні механізми. Рекомбінаційне випромінювання в діелектриках і напівпровідниках. Спонтанне і вимушене випромінювання. | 10 |
| 6 | <b>Напівпровідники у магнітних полях</b><br>Гальваномагнітні ефекти. Ефект Холла. Квантовий ефект Холла. Магнітоопір. Поперечний гальванотермомагнітний ефект. Поздовжній гальванотермомагнітний ефект. Термомагнітні ефекти. Магнітооптичні ефекти. Фотоелектромагнітний ефект. Поворот площини поляризації світла. .                                                                                                                                     | 10 |
| 7 | <b>Напівпровідникові прилади. Практичні застосування напівпровідників</b><br>Оптичні напівпровідникові та діелектричні прилади: фотоелемент, фотодіод, фототранзистор, фоторезистор, лавинний фотодіод, інжекційний лазер. Польовий транзистор. Тунельні діоди. Біполярний напівпровідниковий тріод. Лавинопролітні діоди, діоди Гана.                                                                                                                     | 20 |
| 8 | <b>Сучасні напівпровідникові прилади: квантові каскадні лазери та детектори.</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 10 |

Примітка: контроль виконання завдань, винесених на самостійне опрацювання проводиться в рамках поточного модульного контролю. Бали за цю роботу входять у загальну кількість балів за конкретний модуль.

### Методи та освітні технології навчання

1. Лекції: пояснювально-ілюстративний, репродуктивний метод та метод проблемного викладення.
2. Семінарські заняття: пояснювально-ілюстративний, дослідницький, репродуктивний метод.
3. Самостійна робота: самонавчання, дослідницький метод.

### Контроль та оцінювання навчальних досягнень студентів у процесі вивчення дисципліни

#### Засоби оцінювання

Засобами оцінювання та демонстрування результатів навчання є:

- усне опитування ;
- перевірка виконання завдань під час семінарських занять;
- перевірка домашніх завдань.

#### Система контролю та оцінювання

Види та форми контролю: усні відповіді на контрольні запитання, самостійно виконані практичні завдання; презентації;

Форма підсумкового контролю: екзамен.

### Перелік питань для самоконтролю й контролю навчальних досягнень здобувачів освіти з навчальної дисципліни

#### Змістовий модуль 1.

1. Описати особливості і класифікацію напівпровідників.
2. Пояснити основні засади адіабатичного наближення для опису зонної структури напівпровідників.
3. Описати одноелектронне наближення для визначення властивостей напівпровідників.

4. Пояснити поняття квазіімпульсу у напівпровідниках.
5. Проаналізувати енергетичний спектр електронів у напівпровідниках.
6. Пояснити поняття наповнення дозованих зон.
7. Проаналізувати поняття ефективної маси і його використання для визначення властивостей напівпровідникових кристалів.
8. Проаналізувати оптичне явище у напівпровідниках: фотovoltaїчний ефект.
9. Описати механізм поглинання світла у напівпровідниках (власний).
10. Описати механізм поглинання світла у напівпровідниках (внутрішньозонний).
11. Описати домішковий механізм поглинання світла у напівпровідниках.
12. Описати міждомішковий механізм поглинання світла у напівпровідниках.
13. Описати екситонний механізм поглинання світла у напівпровідниках.
14. Описати фононний механізм поглинання світла у напівпровідниках.
15. Описати плазмовий механізм поглинання світла у напівпровідниках.
16. Описати основні властивості напівпровідників у магнітних полях.
17. Пояснити основні гальваноманітні ефекти.
18. Описати властивості власних напівпровідників. Пояснити явище генерація і рекомбінації.
19. Описати ефект Холла та його особливості.
20. Описати властивості власних напівпровідників. Концентрація електронів і дірок.
21. Описати явище магнітоопору (магніторезистивний ефект Гауса).
22. Описати властивості легованих напівпровідників (донори).
23. Описати властивості легованих напівпровідників (акцептори).
24. Описати поперечний гальванотермомагнітний ефект (Етінгсгаузена) та його властивості.
25. Описати кінетичні процеси у напівпровідниках. Пояснити явище електропровідності.
26. Пояснити як відбувається генерація і рекомбінація носіїв заряду.
27. Описати поздовжній гальванотермомагнітний ефект (Нернста) та його властивості.
28. Описати кінетичні процеси у напівпровідниках. Пояснити явище біполярної теплопровідності.
29. Описати кінетичні процеси у напівпровідниках. Пояснити явище фононної теплопровідності.
30. Описати кінетичні процеси у напівпровідниках. Пояснити явище екситонної теплопровідності.
31. Описати ефект стиснення (пінч-ефект) та його властивості.
32. Описати кінетичні процеси у напівпровідниках. Пояснити явище електропровідності.
33. Описати кінетичні процеси у напівпровідниках (розсіювання носіїв заряду).
34. Описати кінетичні процеси у напівпровідниках, а саме, рухливості електронів і дірок.
35. Описати властивості термомагнітних ефектів (поперечне електричне поле).
36. Описати властивості термомагнітних ефектів (поздовжнє електричне поле).
37. Описати кінетичні процеси у напівпровідниках. Пояснити зміст поняття «рівень Фермі».
38. Описати властивості термомагнітних ефектів (поперечний градієнт температур).
39. Описати властивості термомагнітних ефектів (поздовжній градієнт температур).
40. Описати поведінку напівпровідників у сильному електричному полі.
41. Описати магнітооптичні ефекти і пояснити поняття фотоелектронного магнітного потенціалу.
42. Описати магнітооптичні ефекти і пояснити явище міжзонного магнітопоглинання.
43. Описати класифікацію термоелектричних ефектів.
44. Пояснити основні властивості ефекту Зеебека.
45. Описати магнітооптичні ефекти, а саме, домішкове магнітопоглинання.
46. Описати магнітооптичні ефекти, а саме, поворот площини поляризації.
47. Описати класифікацію термоелектричних ефектів.
48. Пояснити основні властивості ефекту Пельтьє.
49. Описати магнітооптичний ефект подвійного заломлення променів.



50. Описати магніто-плазмові явища.
51. Описати класифікацію термоелектричних ефектів.
52. Пояснити основні властивості ефекта Томсона.
53. Описати оптичне явище у напівпровідниках: зовнішній фотоефект.
54. Описати оптичне явище у напівпровідниках: фотолюмінесценція.
55. Описати оптичне явище у напівпровідниках: внутрішній (фоторезистивний) ефект.
56. Проаналізувати основні характеристики сигнальних діодів.
57. Проаналізувати основні характеристики діодних перемикачів.
58. Проаналізувати основні характеристики силових діодів.
59. Проаналізувати основні характеристики повно-хвильових діодів.
60. Проаналізувати основні характеристики місткових випрямлячів струму.
61. Проаналізувати основні характеристики світло-випромінюючих діодів (LED).
62. Проаналізувати основні характеристики і принцип роботи діодів Зенера.
63. Проаналізувати основні характеристики і принцип роботи діодів Шотткі.
64. Пояснити принцип роботи напівпровідникового квантово-каскадного детектора.
65. Пояснити принцип роботи напівпровідникового квантово-каскадного детектора.

### Критерії оцінювання результатів навчання з навчальної дисципліни

Критерієм підсумкового оцінювання є досягнення студентом мінімальних балів передбачених результатами навчання коли студент в основному опанував теоретичні знання навчальної дисципліни, уміє розв'язувати задачі, орієнтується в першоджерелах та рекомендованій літературі, відповідно до вимог навчальної програми.

### Розподіл балів, які отримують здобувачі освіти

| Поточне оцінювання (аудиторна та самостійна робота) |    |    |    |                    |    |    |    | Підсумковий тест (залік) | Сума |
|-----------------------------------------------------|----|----|----|--------------------|----|----|----|--------------------------|------|
| Змістовий модуль 1                                  |    |    |    | Змістовий модуль 2 |    |    |    |                          |      |
| T1                                                  | T2 | T3 | T4 | T5                 | T6 | T7 | T8 | 40                       | 100  |
| 7                                                   | 7  | 8  | 8  | 7                  | 7  | 10 | 6  |                          |      |

T1, T2 ... T15 – теми змістових модулів.

Залежно від характеру відповіді студента зазначена кількість балів може бути скоригована за наступними критеріями:

| К-ть балів | Критерії оцінки                                                                                                                                                                 |
|------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| max        | студент дає вичерпну відповідь на поставлене запитання; правильно розв'язує задачі                                                                                              |
| 0,8 · max  | студент при відповіді на поставлене запитання припустився незначних неточностей, які не впливають на суть відповіді; допускає незначні помилки при розв'язуванні задач          |
| 0,6 · max  | студент при відповіді на поставлене запитання припустився помилок, які виправляє за допомогою викладача; в середньому може дати правильні відповіді на 50% питань теми (задач); |

|           |                                                                                                                                                                                    |
|-----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 0,4 · max | студент при відповіді на поставлене запитання припустився суттєвих помилок, які все ж таки виправляє за допомогою викладача; дає правильні відповіді на 30% питань теми (задач);   |
| 0,2 · max | отримує студент, який за допомогою викладача фрагментарно відповідає на запитання, проте не в повній мірі володіє мінімальним рівнем знань з даного питання;                       |
| 0         | якщо характер відповідей дає підставу стверджувати, що студент неправильно зрозумів суть питання чи не знав правильної відповіді, а тому відповідав, припускаючись грубих помилок. |

### Критерії оцінювання навчальних досягнень здобувачів освіти за шкалою ECTS та національною шкалою на екзамені з дисципліни "Квантова механіка"

Здобувач освіти має відповісти на чотири питання у відповідному білеті. За відповідь на кожне питання може максимально отримати по 10 балів. Результати екзамена оцінюються відповідно до прийнятої уніфікованої університетської шкали: 40 балів від загальної 100-бальної, при цьому кожна відповідь оцінюється наступним чином:

**0–2 балів.** Здобувач освіти виявляє слабке уявлення про основні поняття елементарної теорії напівпровідників.

**3-5 балів.** Здобувач освіти має фрагментарні уявлення про основні поняття теорії фізичних явищ у напівпровідниках і слабо орієнтується у відповіді на питання білету.

**6-7 балів.** Здобувач освіти знає окремі факти, що стосуються питання, але не може впевнено сформулювати цілісну картину. Здобувач освіти за допомогою викладача відтворює окремі частини начального теоретичного матеріалу, дає визначення основних понять і формулює окремі закони й закономірності, що розглядалися в курсі.

**8-9 балів.** Здобувач освіти самостійно відтворює значну частину навчального матеріалу, формулює закони й закономірності, що розглядалися в курсі, але допускає несуттєві помилки. Може пояснити основні явища у напівпровідникових матеріалах та приладах.

**10 балів.** Здобувач освіти самостійно відтворює фактичний і теоретичний навчальний матеріал, пояснює суть явищ та процесів у напівпровідникових матеріалах та приладах. Здобувач освіти вільно володіє засвоєними знаннями.

У відомість обліку успішності та залікову книжку (індивідуальний навчальний план) здобувача освіти заноситься сумарна кількість балів поточного (0-60 балів) та підсумкового контролю (іспит; 0-40 балів) згідно такої таблиці:

### Шкала оцінювання: національна та ECTS

| Оцінка за національною шкалою | Оцінка за шкалою ECTS |                                                     |
|-------------------------------|-----------------------|-----------------------------------------------------|
|                               | Оцінка (бали)         | Пояснення за розширеною шкалою                      |
| <b>Відмінно</b>               | A (90-100)            | відмінно                                            |
| <b>Добре</b>                  | B (80-89)             | дуже добре                                          |
|                               | C (70-79)             | добре                                               |
| <b>Задовільно</b>             | D (60-69)             | задовільно                                          |
|                               | E (50-59)             | достатньо                                           |
| <b>Незадовільно</b>           | FX (35-49)            | (незадовільно)<br>з можливістю повторного складання |

### **Зарахування результатів неформальної освіти**

Відповідно до «Положення про взаємодію формальної та неформальної освіти, визнання результатів навчання (здобутих шляхом неформальної та/або інформальної освіти, в системі формальної освіти) у Чернівецькому національному університеті імені Юрія Федьковича (протокол No109 від 28 березня 2022 року) ([polozhennia-pro-vzaiemodiiu-formalnoi-ta-neformalnoi-osvity.pdf](https://www.chnu.edu.ua/media/jxdfs0zb/etychnyi-kodeks-chernivetskoho-natsionalnoho-universytetu.pdf)) у процесі вивчення дисципліни здобувачу освіти може бути зараховано до 25% балів, отриманих за результатами неформальної та/ або інформальної освіти з проблем, що відповідають тематиці курсу.

### **Політика академічної доброчесності**

Освітня діяльність (викладача і здобувача освіти) під час вивчення навчальної дисципліни ґрунтується на принципах співробітництва та академічної доброчесності. Очікується, що роботи студентів будуть оригінальним дослідженням чи міркуванням й об'єктивно оцінені викладачем.

Дотримання політики щодо академічної доброчесності учасниками освітнього процесу при вивченні навчальної дисципліни регламентовано такими документами:

«Етичний кодекс Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича» <https://www.chnu.edu.ua/media/jxdfs0zb/etychnyi-kodeks-chernivetskoho-natsionalnoho-universytetu.pdf>;

«Положення про виявлення та запобігання академічного плагіату у Чернівецькому національному університеті імені Юрія Федьковича» [https://www.chnu.edu.ua/media/f5eleobm/polozhennya-pro-zapobihannia-plahiatu\\_2024.pdf](https://www.chnu.edu.ua/media/f5eleobm/polozhennya-pro-zapobihannia-plahiatu_2024.pdf).

### **Рекомендована література (основна)**

1. Третяк О.В., Лозовський В.З. Основи фізики напівпровідників: Підручник: У 2 т. – К.: Видавничо-поліграфічний центр "Київський університет", 2007. – Т. 1. – 338 с
2. Поплавко Ю. М Фізика твердого тіла : підручник. В 2-х томах. / Ю. М. Поплавко. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2017. – Том 1: Структура, квазічастинки, метали, магнетики. – 415 с.
3. Строїтелева Н.І., Кісельов Є.М. Фізика твердого тіла. Навчальний посібник – ЗДІА, Запоріжжя, 2018. – 145 с.
4. Пінкевич І.П., Сугаков В.І. Теорія твердого тіла. Навчальний посібник для студентів фізичних спеціальностей університетів. – К.: ВПЦ "Київський університет", 2006. – 334 с.
5. Martin R. Electronic Structure. Basic theory and practical methods. Cambridge 2004
6. Давыдов А.С. Теория твердого тела. М. 1976.
7. Смит Р. Полупроводники. – М.: Мир, 1982.
8. Бонч-Бруевич В.Л., Калашников С.Г. Физика полупроводников. – М.: Наука, 1990.
9. Martin, Joseph D. (2015). "What's in a Name Change? Solid State Physics, Condensed Matter Physics, and Materials Science" (PDF). *Physics in Perspective*. 17 (1): 3–32. doi:10.1007/s00016-014-0151-7

### **Інформаційні ресурси**

1. Сторінка курсу в Moodle <https://moodle.chnu.edu.ua/course/view.php?id=1181>
2. Physics of Solids I (MIT open courses) <https://ocw.mit.edu/courses/physics/8-231-physics-of-solids-i-fall2006/index.htm>
3. Theory of Solids I (MIT open courses) <https://ocw.mit.edu/courses/physics/8-511-theory-of-solids-i-fall-2004/>
4. Theory of Solids II (MIT open courses) <https://ocw.mit.edu/courses/physics/8-512-theory-of-solids-ii-spring2009/>
5. Сторінка КІТКФ [http://ptcsi.chnu.edu.ua/cafedra\\_page/](http://ptcsi.chnu.edu.ua/cafedra_page/) /загальна інформація/
6. Сторінка наукової бібліотеки ЧНУ <http://www.library.chnu.edu.ua/index.php?page=ua>
7. Відкритий математичний ресурс Wolfram Research <https://mathworld.wolfram.com/>. Wolfram demonstration project [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://demonstrations.wolfram.com/>
8. Інші інформаційні ресурси інтернету.