

Додаток 4

Міністерство освіти і науки України

Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна

Кафедра фізики низьких температур

“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Декан фізичного факультету

(вказати назву структурного підрозділу)

Вовк Руслан Володимирович

(вказати П.І.Б. керівника)



“ ” 2023 р.

Робоча програма навчальної дисципліни

**Сучасні проблеми фізики**

(назва навчальної дисципліни)

рівень вищої освіти другий (магістерський)

галузь знань 10 природничі науки

(шифр, назва галузі)

спеціальність 104 Фізика та астрономія (ОНП)

(шифр, назва спеціальності)

освітньо-професійна програма «Фізика»

спеціалізація \_\_\_\_\_

(шифр, назва)

вид дисципліни нормативна

факультет фізичний

2023 / 2024 навчальний рік

Програму рекомендовано до затвердження Вченою радою фізичного факультету


«30» серпня 2023 року, протокол № 6.

**РОЗРОБНИКИ ПРОГРАМИ:** (вказати авторів, їхні наукові ступені, вчені звання та посади)

Гриб Олександр Миколайович, доктор фіз.-мат. наук, професор;  
Тарапов Сергій Іванович, доктор фіз.-мат. наук, член-кор. НАНУ, професор;  
Майзеліс Захар Олександрович, доктор фіз.-мат. наук, професор.

Програму схвалено на засіданні кафедри фізики низьких температур  
Протокол від «29» серпня 2023 року № 16.

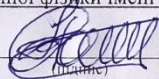
В.о. завідувача кафедри фізики низьких температур

  
Валерій ШКЛОВСЬКИЙ  
(ім'я та прізвище)

Програму схвалено на засіданні кафедри  
теоретичної фізики імені академіка М. Ліфшиця

Протокол від «28» 08 2023 року, № 9

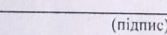
Завідувач кафедри теоретичної фізики імені академіка М. Ліфшиця

  
( Рашба Г.Л.)  
(прізвище та ініціали)

Програму схвалено на засіданні кафедри  
фізичної оптики

Протокол від “ ” 08 2023 року, № ”


В.о. завідувача кафедри фізичної оптики

  
( Тарапов С.І.)  
(прізвище та ініціали)

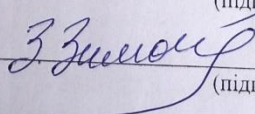
Програму погоджено методичною комісією фізичного факультету

Протокол від «29» серпня 2023 року № 7

Голова методичної комісії фізичного факультету

  
Микола МАКАРОВСЬКИЙ  
(ім'я та прізвище)

Гарант ОПП

  
Золтан ЗИМАН  
(ім'я та прізвище)

Міністерство освіти і науки України

Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна

Кафедра фізики низьких температур

“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Декан фізичного факультету

\_\_\_\_\_  
(вказати назву структурного підрозділу)

Вовк Руслан Володимирович

\_\_\_\_\_  
(вказати П.І.Б керівника)

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2023  
р.

Робоча програма навчальної дисципліни

**Сучасні проблеми фізики**

(назва навчальної дисципліни)

рівень вищої освіти другий (магістерський)

галузь знань 10 природничі науки  
(шифр, назва галузі)

спеціальність 104 Фізика та астрономія (ОНП)  
(шифр, назва спеціальності)

освітньо-професійна програма «Фізика»  
спеціалізація \_\_\_\_\_  
(шифр, назва)

вид дисципліни нормативна  
факультет фізичний

Програму рекомендовано до затвердження Вченою радою фізичного факультету

«30» серпня 2023 року, протокол № 6.

**РОЗРОБНИКИ ПРОГРАМИ:** (вказати авторів, їхні наукові ступені, вчені звання та посади)

Гриб Олександр Миколайович, доктор фіз.-мат. наук, професор;  
Тарапов Сергій Іванович, доктор фіз.-мат. наук, член-кор. НАНУ, професор;  
Майзеліс Захар Олександрович, доктор фіз.-мат. наук, професор.

Програму схвалено на засіданні кафедри фізики низьких температур  
Протокол від «29» серпня 2023 року № 16.

В.о. завідувача кафедри фізики низьких температур

\_\_\_\_\_ Валерій ШКЛОВСЬКИЙ  
(підпис) (ім'я та  
прізвище)

Програму схвалено на засіданні кафедри  
\_\_\_\_\_ теоретичної фізики імені академіка. М. Ліфшиця

Протокол від «28» 08 2023 року, № 9

Завідувач кафедри теоретичної фізики імені академіка. М. Ліфшиця

\_\_\_\_\_ ( Рашба Г.І.)  
(підпис) (прізвище та ініціали)

Програму схвалено на засіданні кафедри  
\_\_\_\_\_ фізичної оптики

Протокол від “ \_\_\_ ” 08 2023 року, № \_\_\_

В.о. завідувача кафедри фізичної оптики

\_\_\_\_\_ ( Тарапов С.І.)  
(підпис) (прізвище та ініціали)

Програму погоджено методичною комісією фізичного факультету

Протокол від «29» серпня 2023 року № 7

Голова методичної комісії фізичного факультету

\_\_\_\_\_ Микола  
МАКАРОВСЬКИЙ  
(підпис) (ім'я та прізвище)

Гарант ОНП \_\_\_\_\_ Юрій БОЙКО  
(підпис) (ім'я та прізвище)

## ВСТУП

Програма навчальної дисципліни «Сучасні проблеми фізики» укладена відповідно до освітньо-професійної програм «Фізика» підготовки фахівців другого (магістерського) рівня вищої освіти

(назва рівня вищої освіти, освітньо-кваліфікаційного рівня) спеціальності 104 Фізика та астрономія (ОНП).

### 1. Опис навчальної дисципліни

#### 1.1. Мета викладання навчальної дисципліни є

- вивчення студентами методів досліджень контактів Джозефсона та ефектів у надпровідниках зі слабкими зв'язками, ознайомлення з принципами вимірювань фізичних характеристик надпровідників, отримання теоретичних і практичних навиків в галузі вивчення твердих тіл при низьких температурах;

- оволодіння студентами уявлень про люмінесценцію і процеси, пов'язані з фотопровідністю у напівпровідниках;

- оволодіння основоположними уявленнями про оптичні властивості метаматеріалів, про історію та сучасний стан експериментальних досліджень метаматеріалів та про відповідні теоретичні засади;

осолодіння уявленнями про принцип побудови квантового комп'ютера та про алгоритми квантового обчислення.

#### 1.2. Основні завдання вивчення дисципліни є

- сформувані у студентів фізичні уявлення щодо основних квантових когерентних явищ у надпровідниках зі слабкими зв'язками. Ознайомити студентів із технікою моделювання явищ в системах надпровідників;

- сформувані у студентів фізичні уявлення щодо люмінесценції у різноманітних середовищах у рамках робочої програми даного курсу та додаткового матеріалу, який рекомендовано вивчити самостійно;

- вивчити матеріал щодо властивостей метаматеріалів у рамках робочої програми даного курсу та додаткового матеріалу, який рекомендовано вивчити самостійно.

- досліджувати еволюцію квантово-механічних систем за допомогою вирішення квантового квантового кінетичного рівняння, аналізувати і порівнювати ефективність дії квантових алгоритмів при різних реалізаціях квантового комп'ютера, користуючись навчальною та довідковою літературою, обирати адекватні методи вирішення задач побудови квантових алгоритмів.

Основними завданнями вивчення дисципліни є надання необхідної бази для подальшого більш глибокого вивчення фундаментальних та прикладних аспектів фізики слабозв'язаних надпровідників, а також навчання студентів проведенню самостійних досліджень в цій галузі науки.

Програмні компетентності, що забезпечуються дисципліною ОКЗ у відповідності до ОПП «Фізика»:

#### **Інтегральна компетентність:**

Здатність розв'язувати складні задачі і проблеми дослідницького та/або інноваційного характеру у фізиці та астрономії.

#### **Загальні компетентності:**

ЗК 1. Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу.

ЗК 2. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.

ЗК 4. Здатність використовувати інформаційні та комунікаційні технології.

ЗК 5. Вміння виявляти, ставити та вирішувати проблеми.

ЗК 6. Здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями.

ЗК 8. Здатність оцінювати та забезпечувати якість виконуваних робіт.

ЗК 9. Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел.

ЗК 11. Здатність дотримуватися принципів академічної доброчесності.

**Фахові компетентності:**

- ФК 1. Знання і розуміння теоретичного та експериментального базису сучасної фізики та астрономії.
- ФК 2. Здатність формулювати, аналізувати та синтезувати рішення наукових проблем в області фізики та/або астрономії.
- ФК 3. Здатність презентувати результати проведених досліджень, а також сучасні концепції у фізиці та/або астрономії фахівцям і нефахівцям.
- ФК 4. Здатність комунікувати із колегами усно і письмово державною та англійською мовами щодо наукових досягнень та результатів досліджень в області фізики та/або астрономії.
- ФК 5. Здатність сприймати новоздобуті знання в області фізики та астрономії та інтегрувати їх із уже наявними, а також самостійно опановувати знання і навички, необхідні для розв'язання складних задач і проблем у нових для себе деталізованих предметних областях фізики та/або астрономії й дотичних до них міждисциплінарних областях.
- ФК 7. Здатність планувати й здійснювати теоретичні та/або експериментальні дослідження фізичних або астрономічних об'єктів, явищ і процесів на основі розуміння і навичок практичного використання спеціалізованих знань фізики, астрономії та астрофізики, відповідно до обраної спеціалізації, а також спеціальних математичних методів та інформаційних технологій.
- ФК 8. Здатність встановлювати зв'язок між експериментальними і теоретичними результатами, здійснювати феноменологічний та теоретичний опис досліджуваних явищ, об'єктів і процесів, пов'язувати результати досліджень із сучасними фізичними та астрономічними теоріями і уявленнями.
- ФК 9. Здатність працювати з джерелами навчальної та наукової інформації.
- ФК 10. Здатність представляти результати досліджень професійній та непрофесійній аудиторії.

1.3. Кількість кредитів : 6

1.4. Загальна кількість годин : 180.

| 1.5. Характеристика навчальної дисципліни |                                     |
|---|-------------------------------------|
| Нормативна / за вибором                   |                                     |
| Денна форма навчання                      | Заочна (дистанційна) форма навчання |
| Рік підготовки                            |                                     |
| 5-й                                       | -й                                  |
| Семестр                                   |                                     |
| 9-й                                       | -й                                  |
| Лекції                                    |                                     |
| 96 год.                                   | год.                                |
| Практичні, семінарські заняття            |                                     |
| год.                                      | год.                                |
| Лабораторні заняття                       |                                     |
| год.                                      | год.                                |
| Самостійна робота                         |                                     |
| 84 год.                                   | год.                                |
| Індивідуальні завдання                    |                                     |
| год.                                      |                                     |

1.6. Заплановані результати навчання.

Студенти повинні досягти таких результатів навчання:

**знати:**

- квантові явища у надпровідниках зі слабкими зв'язками, принципи застосування надпровідників зі слабкими зв'язками для вивчення фізичних властивостей



матеріалів;

- основні теоретичні положення для опису люмінесцентних властивостей середовищ;
- головні відомі експериментальні результати та теорії таких середовищ; фотоприлади, що функціонують з використанням люмінесценції та фотопровідності;
- основні теоретичні положення для опису оптичних властивостей метаматеріалів;
- головні відомі експериментальні результати досліджень мета матеріалів;
- Знати, розуміти та бути здатним застосовувати на професійному рівні принципи і підходи до опису основних моделей побудови квантових бітів, проблеми побудови з них квантових комп'ютерів та ідеї алгоритмів квантового обчислення з метою розв'язування типових фізичних задач.

**вміти:**

- вести та самостійно доповнювати конспекти лекцій, опрацьовувати як навчальну так і спеціальну фахову (також і періодичну) наукову літературу, здійснювати самоконтроль якості засвоєння теоретичних знань;
- застосовувати здобуті знання для одержання, аналізу та пояснення експериментальних даних при дослідженнях люмінесцентних середовищ;
- застосовувати здобуті знання для одержання, аналізу та пояснення експериментальних даних при дослідженнях оптичних мета матеріалів;
- бути здатним застосовувати математичні знання з квантової статистики з метою дослідження квантових систем на можливість використання їх в якості квантового біту інформації, складати простіші алгоритми квантового комп'ютингу.

1.6. Програмні результати навчання, що забезпечуються дисципліною ОКЗ у відповідності до ОПП «Фізика»:

- ПРН 1. Знати, розуміти та вміти застосовувати на базовому рівні 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 й класифікації суті та механізмів різноманітних фізичних явищ і процесів для розв'язування складних спеціалізованих задач та практичних проблем з фізики та/або астрономії.
- ПРН 2. Знати і розуміти фізичні основи астрономічних явищ: аналізувати, тлумачити, пояснювати і класифікувати будову та еволюцію астрономічних об'єктів Всесвіту (планет, зір, планетних систем, галактик тощо), а також основні фізичні процеси, які відбуваються в них.
- ПРН 3. Застосовувати сучасні теорії наукового менеджменту та ділового адміністрування для організації наукових і прикладних досліджень в області фізики та/або астрономії.
- ПРН 4. Обирати і використовувати відповідні методи обробки та аналізу даних фізичних та/або астрономічних досліджень і оцінювання їх достовірності.
- ПРН 5. Знати основні актуальні проблеми сучасної фізики та астрономії.
- ПРН 6. Оцінювати вплив новітніх відкриттів на розвиток сучасної фізики та астрономії.
- ПРН 9. Аналізувати та узагальнювати наукові результати з обраного напрямку фізики та/або астрономії, відслідковувати найновіші досягнення в цьому напрямі, взаємокорисно спілкуючись із колегами.
- ПРН 10. Відшуковувати інформацію і дані, необхідні для розв'язання складних задач фізики та/або астрономії, використовуючи різні джерела, зокрема, наукові видання, наукові бази даних тощо, оцінювати та критично аналізувати отримані інформацію та дані.
- ПРН 11. Вміти упорядковувати, тлумачити та узагальнювати одержані наукові та практичні результати, робити висновки.

## Частина 1. Слабка надпровідність

### Розділ 1. Слабка надпровідність

Тема 1. Характеристика предмета курсу. Стаціонарний та нестаціонарний ефекти Джозефсона. Різновиди слабких зв'язків. Огляд методів отримання контактів Джозефсона.

Тема 2. Тунельний ефект у надпровідниках. Розгляд вольт-амперних характеристик тунельних контактів у рамках теорії Бардіна-Купера-Шріффера.

Тема 3. Вольт-амперні характеристики контактів Джозефсона. Резистивно-ємнісна модель контакту. Залежність напруги на контакті від струму в рамках резистивно-ємнісної моделі контакту. Вплив ємності контакту та шумів на вольт-амперну характеристику контакту.

Тема 4. Лондонівська глибина проникнення магнітного поля. Квантування магнітного потоку у надпровідних циліндрах.

Тема 5. Електродинаміка контактів Джозефсона у магнітному полі. Рівняння синус-Гордона та його рішення.

Тема 6. Залежності критичного струму контакту від магнітного поля при однорідному та неоднорідному розподілах критичного струму.

Тема 7. Надпровідні кільця з одним та двома контактами.

Тема 8. Критичний струм двохконтактного інтерферометра. Вимірювання магнітного поля за допомогою двохконтактних інтерферометрів.

Тема 9. Ефект Ааронова - Бома в надпровідних контурах з контактами Джозефсона.

Тема 10. Енергія контакту Джозефсона. Фазовий, потоковий та зарядовий кубіти. Математичне моделювання потокового кубіту.

Тема 11. Резонансні моди у контактах. Теорія сходинок Фіске у зовнішньому магнітному полі для контактів з малими та великими значеннями добротності. Сходинки нульового поля у контактах з неоднорідним розподілом критичних струмів.

Тема 12. Дія зовнішнього випромінювання на контакт. Сходинки Шапіро на вольт-амперній характеристиці контакту. Використання контактів Джозефсона у метрології.

Тема 13. Джозефсонівські вихорі у довгих контактах. Довгий контакт як джерело випромінювання електромагнітних хвиль.

Тема 14. Електродинаміка надпровідних шаруватих структур (пачок контактів Джозефсона). Моди електромагнітних коливань у пачках. Синфазна та антифазна моди електромагнітних коливань у пачці з двох контактів. Резонансна взаємодія мод з стоячими хвилями.

Тема 15. Внутрішній ефект Джозефсона у високотемпературних надпровідниках. Високотемпературні надпровідники як джерела субтерагерцового та терагерцового випромінювання. Моделювання випромінювання високотемпературних надпровідників.

Тема 16. Статичний та динамічний ефекти Казимира. Умови отримання динамічного ефекту Казимира у надпровідній довгій лінії. Експериментальна реалізація динамічного ефекту Казимира.



## Частина 2. Сучасні аспекти теорії та використання люмінесценції

### Розділ 1. Загальні питання люмінесценції

- Тема 1. Визначення, природа та застосування люмінесценції. Види люмінесценції. Класифікація люмінесценції за типом збудження. Спектри люмінесценції. Діаграми Яблонського.
- Тема 2. Фотопровідність. Зовнішній та внутрішній фотоэффект. Відхилення від законів фотоэффекту. Види фотопровідності. Внутрішньозонна фотопровідність. Охолодження носіїв. Спектр фотоносіїв.
- Тема 3. Спонтанне та вимушене випромінювання. Зв'язок між коефіцієнтами Ейнштейна. Застосування вимушеного випромінювання. Потужність люмінесценції
- Тема 4. Особливості збудження та гасіння люмінесценції. Позитивна та негативна люмінесценція. Правило Стокса. Антистоксова люмінесценція. Універсальне співвідношення Степанова. Енергетичний та квантовий вихід люмінесценції. Поляризація люмінесценції
- Тема 5. Основні закони люмінесценції. Теорема Паулі. Хімічний потенціал. Люмінесценція систем з різною силою зв'язку (за Фьорстером). Вихід люмінесценції (закони Вавілова). Види гасіння люмінесценції. Інтенсивність люмінесценції, її зв'язок із вектором Пойнтінга. Адіабатичне наближення. Коливально-обертальні взаємодії. Ефекти Яна–Теллера

### Розділ 2. Вплив перенесення енергії збудження на люмінесценцію

- Тема 1. Прояв переносу енергії збудження у люмінесцентному процесі. Мультиполі. Наближення дворівневої системи. Диполь-дипольна взаємодія
- Тема 2. Диполь-дипольне перенесення енергії у жорстких розчинах. Кінетика затухання числа донорів. Кінетика висвітлення акцепторів. Вихід люмінесценції та середній час життя донорів. Урахування ближнього порядку. Усреднення ймовірності перенесення при великих концентраціях акцептора
- Тема 3. Диполь-дипольне перенесення енергії у рідких розчинах. Модель суцільного поглинаючого середовища. Модель «повного перемішування». Диполь-дипольне перенесення з урахуванням дифузії молекул.

### Розділ 3. Особливості люмінесценції у різних видах середовищ

- Тема 1. Діелектрики, напівпровідники, провідники: енергія взаємодії у системах з різним типом зв'язку. Елементи зонної теорії, границі її застосовності. Стричковий механізм перенесення носіїв. Інтеграл перенесення. Перенесення локалізованих носіїв заряду. Вплив поляризації. Енергетична діаграма молекулярного кристала
- Тема 2. Особливості розміну носіїв заряду і люмінесценція у неорганічних напівпровідниках. Хімічний зв'язок та властивості неорганічних напівпровідників. Дефекти у кристалах, їх основні характеристики. Особливості руху електронів твердого тіла у електричних, магнітних, теплових полях. Рівняння руху електронів у кристалічній ґратці. Квазічастинка дірка

### Розділ 4. Джерела світла

- Тема 1. Лампи розжарювання. Світлодіоди, принцип їхньої роботи, переваги світлодіодів. Органічні світлодіоди OLED
- Тема 2. Лазерний діод. Види лазерних діодів. Застосування лазерних діодів. Суперлюмінесцентні діоди. Напівпровідникові лазери, їх типи

### Розділ 5. Сцинтилятори

- Тема 1. Сцинтилятори: загальні характеристики, енергія зв'язку, Ван-дер-Ваальсові радіуси, іонні радіуси. Формування структури сцинтиляторів. Пластмасові сцинтилятори. Рідкі сцинтилятори. Композиційні сцинтилятори.

Полікристалічні скінтілятори

- Тема 2. Іонізуюче випромінювання. Процеси, що виникають під дією іонізуючого випромінювання. Енергія зв'язку скінтіляторів. Ковзні та лобові зіткнення. Треки частинок. Первинні короткоживучі збуджені стани. Плазмони, особливості їхнього збудження у різноманітних речовинах. Суперзбуджені стани
- Тема 3. Загальні аспекти застосування скінтіляторів. Оцінювання впливу безпосередньо іонізуючих випромінювань. Рекомбінаційна радіюлюмінесценція лужно-галоїдних кристалів, органічних конденсованих середовищ. Кінетика формування імпульсу радіюлюмінесценції. Радіюлюмінесценція у областях із високою/низькою щільністю активації. Відмінності у формуванні скінтіляційних спалахів у неорганічних та органічних скінтіляторах

### **Розділ 6. Порівняльні характеристики люмінесцентних наноб'єктів**

- Тема 1. Люмінесцентні наночастинки та наноккомпозити для зчитування та формування зображень. Міжмолекулярні зв'язки, кристалічність та упорядкування. Взаємодія на поверхні. Нанорозмірні флуоресцентні випромінювачі
- Тема 2. Порівняння оптичних властивостей органічних барвників, квантових точок та срібних кластерів. Зелені флуоресцентні білки. Спряжені полімери. Напівпровідникові квантові точки. Люмінесцентні наночастинки з ап-конверсією.

## **Частина 3 . Метаматеріали**

### **Розділ 1. Штучні діелектрики та штучні магнетики**

- Тема 1. Штучні діелектрики та штучні магнетики.

### **Розділ 2. Рівняння Максвелла. Матеріальні параметри природних та штучних середовищ**

- Тема 1. Рівняння Максвелла. Матеріальні параметри природних та штучних середовищ.

### **Розділ 3. Фізична природа магнітної та діелектричної проникності**

- Тема 1. Магнітна проникність, її дисперсія. Джерела дисперсії. Магнітна проникність поблизу електронного спінового резонансу. Феноменологічне рівняння Блоха для магнітного моменту (спіну). Розв'язання рівняння Блоха.
- Тема 2. Фізична природа діелектричної проникності. Дисперсія діелектричної проникності. Закон Друде для природних провідників і діелектриків. Закон Друде для природних матеріалів з урахуванням втрат та без їх урахування. Закон Друде для метаматеріалів.

### **Розділ 4. Дисперсія магнітної та діелектричної проникності метаматеріалів**

- Тема 1. Частотна та просторова дисперсія магнітної та діелектричної проникності метаматеріалів. Діапазони негативних та позитивних значень діелектричної та магнітної проникності.

### **Розділ 5. Фотонні кристали**

- Тема 1. Поняття зонної структури спектра у фотонних та природних кристалах. Формування зонної структури енергетичного спектра природного матеріалу. Задача Кроніга–Пенні. Дисперсійне рівняння для хвилі де Бройля.
- Тема 2. Формування зонної структури частотного спектра фотонного кристала. Просторово обмежений та необмежений фотонний кристал.
- Тема 3. Метод матриць передачі. Хвиля Блоха в одновимірному фотонному кристалі. Дисперсійне рівняння для фотонного кристала як аналог дисперсійного рівняння для хвилі де Бройля.
- Тема 4. Магнітофотонний кристал. Звичайні та незвичайні хвилі.
- Тема 5. Стан Тамма, його природа. Задача Ліфшиця–Пекара. Поверхневі стани (як найзагальніший випадок стану Тамма) у спектрі природного кристала.

- Тема 6. Поверхневі стани у спектрі фотонного кристала як електродинамічний аналог станів Тамма у природному кристалі.
- Тема 7. Вісесиметричний фотонний кристал. Збільшення ефекту Фарадея.
- Тема 8. Дефекти у фотонному кристалі. Спотворення спектра, дефектні моди. Керування дефектними модами у магнітоактивному (електроактивному) фотонному кристалі.
- Тема 9. Явище проходження світла крізь структуру поза межних отворів. Поза межний хвилевід. Принципи металооптики (проходження крізь тонкі пластини, явище просвітлення).
- Тема 10. Планарні фотонні кристали

### **Розділ 6. Лівобічні метаматеріали**

- Тема 1. Загальні уявлення про природу від'ємної рефракції. Граничний перехід від фотонного кристала до метаматеріалу у вигляді «суцільного середовища».
- Тема 2. Від'ємна діелектрична проникність і її природа у: а) природних середовищах; б) штучних середовищах.
- Тема 3. Від'ємна магнітна проникність і її природа у: а) природних середовищах; б) штучних середовищах.
- Тема 4. Формування зворотної хвилі в одновимірному шаруватому метаматеріалі.

### **Розділ 7. Енантіоморфні / Кіральні / Гіротропні матеріали**

- Тема 1. Оптична активність у фізиці твердого тіла. Гіротропія. Плоско- та циркулярно поляризовані хвилі.
- Тема 2. Магнітна гіротропія. Ефект Фарадея. Загальне та відмінне в ефекті Фарадея для природних середовищ та штучних (метаматеріалів).
- Тема 3. Лівобічний киральний метаматеріал.

## **Частина 4. Квантовий комп'ютер**

### **Розділ 1. Принципи побудови і оперування квантових комп'ютерів**

- Тема 1. Основні принципи квантової інформації.
- Тема 2. Гамільтонова динаміка дворівневої системи.
- Тема 3. Методи контролю дворівневих систем.
- Тема 4. Квантове кінетичне рівняння.
- Тема 5. Застосування квантового кінетичного рівняння.
- Тема 6. Рівняння Блоха-Редфільда.
- Тема 7. Основні носії квантової інформації.
- Тема 8. Молекулярні кюбіти.
- Тема 9. Надпровідникові кюбіти.

### **Розділ 2. Квантові алгоритми та їх застосування**

- Тема 10. Квантові і класичні алгоритми.
- Тема 11. Квантовий паралелізм.
- Тема 12. Квантова теорема про неможливість копіювання інформації.
- Тема 13. Алгоритм Саймона.
- Тема 14. Алгоритм Шора.
- Тема 15. Декогеренція у квантових комп'ютерах.
- Тема 16. Методи зчитування інформації.
- Тема 17. Точні та не деструктивні методи аналізу.
- Тема 18. Перспективи розвитку квантового комп'ютерингу.

## **3. Структура навчальної дисципліни**

| Назви розділів і тем | Кількість годин |              |
|----------------------|-----------------|--------------|
|                      | денна форма     | заочна форма |
|                      |                 |              |

| 1                          | усього    | у тому числі |   |      |      |           | Усього | у тому числі |    |      |      |          |
|----------------------------|-----------|--------------|---|------|------|-----------|--------|--------------|----|------|------|----------|
|                            |           | л            | п | лаб. | інд. | с.<br>р.  |        | л            | п  | лаб. | інд. | с.<br>р. |
| 2                          | 3         | 4            | 5 | 6    | 7    | 8         | 9      | 10           | 11 | 12   | 13   |          |
| <b>Частина 1.</b>          |           |              |   |      |      |           |        |              |    |      |      |          |
| <b>Розділ 1.</b>           |           |              |   |      |      |           |        |              |    |      |      |          |
| Тема 1                     | 4         | 2            |   |      |      | 2         |        |              |    |      |      |          |
| Тема 2                     | 4         | 2            |   |      |      | 2         |        |              |    |      |      |          |
| Тема 3                     | 4         | 2            |   |      |      | 2         |        |              |    |      |      |          |
| Тема 4                     | 4         | 2            |   |      |      | 2         |        |              |    |      |      |          |
| Тема 5                     | 4         | 2            |   |      |      | 2         |        |              |    |      |      |          |
| Тема 6                     | 4         | 2            |   |      |      | 2         |        |              |    |      |      |          |
| Тема 7                     | 3         | 2            |   |      |      | 1         |        |              |    |      |      |          |
| Тема 8                     | 4         | 2            |   |      |      | 2         |        |              |    |      |      |          |
| Тема 9                     | 3         | 2            |   |      |      | 1         |        |              |    |      |      |          |
| Тема 10                    | 3         | 2            |   |      |      | 1         |        |              |    |      |      |          |
| Тема 11                    | 4         | 2            |   |      |      | 2         |        |              |    |      |      |          |
| Тема 12                    | 4         | 2            |   |      |      | 2         |        |              |    |      |      |          |
| Тема 13                    | 4         | 2            |   |      |      | 2         |        |              |    |      |      |          |
| Тема 14                    | 4         | 2            |   |      |      | 2         |        |              |    |      |      |          |
| Тема 15                    | 4         | 2            |   |      |      | 2         |        |              |    |      |      |          |
| Тема 16                    | 3         | 2            |   |      |      | 1         |        |              |    |      |      |          |
| <b>Разом за частиною 1</b> | <b>60</b> | <b>32</b>    |   |      |      | <b>28</b> |        |              |    |      |      |          |
| <b>Частина 2.</b>          |           |              |   |      |      |           |        |              |    |      |      |          |
| <b>Розділ 1.</b>           |           |              |   |      |      |           |        |              |    |      |      |          |
| Тема 1.                    | 2         | 1            |   |      |      | 1         |        |              |    |      |      |          |
| Тема 2.                    | 2         | 1            |   |      |      | 1         |        |              |    |      |      |          |
| Тема 3.                    | 3         | 2            |   |      |      | 1         |        |              |    |      |      |          |
| Тема 4.                    | 3         | 2            |   |      |      | 1         |        |              |    |      |      |          |
| Тема 5.                    | 4         | 2            |   |      |      | 2         |        |              |    |      |      |          |
| <b>Разом за розділом 1</b> | <b>14</b> | <b>8</b>     |   |      |      | <b>6</b>  |        |              |    |      |      |          |
| <b>Розділ 2.</b>           |           |              |   |      |      |           |        |              |    |      |      |          |
| Тема 1.                    | 3         | 2            |   |      |      | 1         |        |              |    |      |      |          |
| Тема 2.                    | 3         | 2            |   |      |      | 1         |        |              |    |      |      |          |
| Тема 3.                    | 4         | 2            |   |      |      | 2         |        |              |    |      |      |          |
| <b>Разом за розділом 2</b> | <b>10</b> | <b>6</b>     |   |      |      | <b>4</b>  |        |              |    |      |      |          |
| <b>Розділ 3.</b>           |           |              |   |      |      |           |        |              |    |      |      |          |
| Тема 1.                    | 4         | 3            |   |      |      | 1         |        |              |    |      |      |          |
| Тема 2.                    | 4         | 3            |   |      |      | 1         |        |              |    |      |      |          |
| <b>Разом за розділом 3</b> | <b>8</b>  | <b>6</b>     |   |      |      | <b>2</b>  |        |              |    |      |      |          |
| <b>Розділ 4.</b>           |           |              |   |      |      |           |        |              |    |      |      |          |
| Тема 1.                    | 4         | 2            |   |      |      | 2         |        |              |    |      |      |          |
| Тема 2.                    | 4         | 2            |   |      |      | 2         |        |              |    |      |      |          |
| <b>Разом за розділом 4</b> | <b>8</b>  | <b>4</b>     |   |      |      | <b>4</b>  |        |              |    |      |      |          |
| <b>Розділ 5.</b>           |           |              |   |      |      |           |        |              |    |      |      |          |
| Тема 1.                    | 4         | 2            |   |      |      | 2         |        |              |    |      |      |          |
| Тема 2.                    | 4         | 2            |   |      |      | 2         |        |              |    |      |      |          |
| Тема 3.                    | 4         | 2            |   |      |      | 2         |        |              |    |      |      |          |
| <b>Разом за розділом 5</b> | <b>12</b> | <b>6</b>     |   |      |      | <b>6</b>  |        |              |    |      |      |          |
| <b>Розділ 6.</b>           |           |              |   |      |      |           |        |              |    |      |      |          |
| Тема 1.                    | 4         | 3            |   |      |      | 1         |        |              |    |      |      |          |
| Тема 2.                    | 4         | 3            |   |      |      | 1         |        |              |    |      |      |          |

|                            |           |           |  |  |           |  |  |  |  |  |  |
|----------------------------|-----------|-----------|--|--|-----------|--|--|--|--|--|--|
| Разом за розділом 6        | <b>8</b>  | <b>6</b>  |  |  | <b>2</b>  |  |  |  |  |  |  |
| <b>Разом за частиною 2</b> | <b>60</b> | <b>36</b> |  |  | <b>24</b> |  |  |  |  |  |  |
| Частина 3.                 |           |           |  |  |           |  |  |  |  |  |  |
| <b>Розділ 1.</b>           |           |           |  |  |           |  |  |  |  |  |  |
| Тема 1                     | 3         | 2         |  |  | 1         |  |  |  |  |  |  |
| Разом за розділом 1        | <b>3</b>  | <b>2</b>  |  |  | <b>1</b>  |  |  |  |  |  |  |
| Розділ 2.                  |           |           |  |  |           |  |  |  |  |  |  |
| Тема 1                     | 3         | 3         |  |  | 1         |  |  |  |  |  |  |
| Разом за розділом 2        | <b>4</b>  | <b>3</b>  |  |  | <b>1</b>  |  |  |  |  |  |  |
| <b>Розділ 3.</b>           |           |           |  |  |           |  |  |  |  |  |  |
| Тема 1                     | 3         | 2         |  |  | 1         |  |  |  |  |  |  |
| Тема 2                     | 3         | 2         |  |  | 1         |  |  |  |  |  |  |
| <b>Разом за розділом 3</b> | <b>6</b>  | <b>4</b>  |  |  | <b>2</b>  |  |  |  |  |  |  |
| Розділ 4.                  |           |           |  |  |           |  |  |  |  |  |  |
| Тема 1                     | 3         | 2         |  |  | 1         |  |  |  |  |  |  |
| <b>Разом за розділом 4</b> | <b>3</b>  | <b>2</b>  |  |  | <b>1</b>  |  |  |  |  |  |  |
| Розділ 5.                  |           |           |  |  |           |  |  |  |  |  |  |
| Тема 1                     | 2         | 1         |  |  | 1         |  |  |  |  |  |  |
| Тема 2                     | 2         | 1         |  |  | 1         |  |  |  |  |  |  |
| Тема 3                     | 2         | 1         |  |  | 1         |  |  |  |  |  |  |
| Тема 4                     | 2         | 1         |  |  | 1         |  |  |  |  |  |  |
| Тема 5                     | 2         | 1         |  |  | 1         |  |  |  |  |  |  |
| Тема 6                     | 2         | 1         |  |  | 1         |  |  |  |  |  |  |
| Тема 7                     | 2         | 1         |  |  | 1         |  |  |  |  |  |  |
| Тема 8                     | 2         | 1         |  |  | 1         |  |  |  |  |  |  |
| Тема 9                     | 3         | 1         |  |  | 2         |  |  |  |  |  |  |
| Тема 10                    | 4         | 2         |  |  | 2         |  |  |  |  |  |  |
| <b>Разом за розділом 5</b> | <b>23</b> | <b>11</b> |  |  | <b>12</b> |  |  |  |  |  |  |
| Розділ 6.                  |           |           |  |  |           |  |  |  |  |  |  |
| Тема 1                     | 3         | 2         |  |  | 1         |  |  |  |  |  |  |
| Тема 2                     | 3         | 2         |  |  | 1         |  |  |  |  |  |  |
| Тема 3                     | 3         | 2         |  |  | 1         |  |  |  |  |  |  |
| Тема 4                     | 3         | 2         |  |  | 1         |  |  |  |  |  |  |
| <b>Разом за розділом 6</b> | <b>12</b> | <b>8</b>  |  |  | <b>4</b>  |  |  |  |  |  |  |
| Розділ 7.                  |           |           |  |  |           |  |  |  |  |  |  |
| Тема 1                     | 3         | 2         |  |  | 1         |  |  |  |  |  |  |
| Тема 2                     | 3         | 2         |  |  | 1         |  |  |  |  |  |  |
| Тема 3                     | 3         | 2         |  |  | 1         |  |  |  |  |  |  |
| <b>Разом за розділом 7</b> | <b>9</b>  | <b>6</b>  |  |  | <b>3</b>  |  |  |  |  |  |  |
| <b>Разом за частиною 3</b> | <b>60</b> | <b>36</b> |  |  | <b>24</b> |  |  |  |  |  |  |

## Частина 4.

## Розділ 1.

|        |   |   |  |  |   |  |  |  |  |  |  |
|--------|---|---|--|--|---|--|--|--|--|--|--|
| Тема 1 | 3 | 2 |  |  | 1 |  |  |  |  |  |  |
| Тема 2 | 3 | 2 |  |  | 1 |  |  |  |  |  |  |
| Тема 3 | 3 | 2 |  |  | 1 |  |  |  |  |  |  |
| Тема 4 | 3 | 2 |  |  | 1 |  |  |  |  |  |  |
| Тема 5 | 3 | 2 |  |  | 1 |  |  |  |  |  |  |

|                     |            |            |  |  |           |  |  |  |  |  |
|---------------------|------------|------------|--|--|-----------|--|--|--|--|--|
| Тема 6              | 4          | 2          |  |  | 2         |  |  |  |  |  |
| Тема 7              | 3          | 2          |  |  | 1         |  |  |  |  |  |
| Тема 8              | 3          | 2          |  |  | 1         |  |  |  |  |  |
| Тема 9              | 4          | 2          |  |  | 2         |  |  |  |  |  |
| Разом за розділом 1 | <b>29</b>  | <b>18</b>  |  |  | <b>11</b> |  |  |  |  |  |
| Розділ 2            |            |            |  |  |           |  |  |  |  |  |
| Тема 1              | 4          | 2          |  |  | 2         |  |  |  |  |  |
| Тема 2              | 3          | 2          |  |  | 1         |  |  |  |  |  |
| Тема 3              | 3          | 2          |  |  | 1         |  |  |  |  |  |
| Тема 4              | 3          | 2          |  |  | 1         |  |  |  |  |  |
| Тема 5              | 3          | 2          |  |  | 1         |  |  |  |  |  |
| Тема 6              | 3          | 2          |  |  | 1         |  |  |  |  |  |
| Тема 7              | 4          | 2          |  |  | 2         |  |  |  |  |  |
| Тема 8              | 4          | 2          |  |  | 2         |  |  |  |  |  |
| Тема 9              | 3          | 2          |  |  | 2         |  |  |  |  |  |
| Разом за розділом 2 | <b>31</b>  | <b>18</b>  |  |  | <b>13</b> |  |  |  |  |  |
| Разом за частиною 4 | <b>60</b>  | <b>36</b>  |  |  | <b>24</b> |  |  |  |  |  |
| <b>Разом</b>        | <b>240</b> | <b>144</b> |  |  | <b>96</b> |  |  |  |  |  |

#### 4. Теми семінарських (практичних, лабораторних) занять

Не передбачені навчальним планом.

#### 5. Завдання для самостійної роботи

| № з/п | Види, зміст самостійної роботи  | Кількість годин |
|-------|---|-----------------|
| 1     | Ознайомитись з стаціонарним та нестаціонарним ефектом Джозефсона та ізновиди слабких зв'язків. Огляд методів отримання контактів Джозефсона.  | 2               |
| 2     | Вивчити вольт-амперні характеристики N-I-N, S-I-N та S-I-S контактів. Застосувати вирази густини станів у рамках теорії Бардіна-Купера-Шріффера для пояснення вольт-амперних характеристик S-I-N та S-I-S контактів.            | 2               |
| 3     | Розрахувати амплітуди гармонік джозефсонівського випромінювання для резистивної моделі контакту. Змоделювати вольт - амперні характеристики контактів з ємністю.  | 2               |
| 4     | Вивчити математичну модель ефекту Мейсснера та проаналізувати вираз для лондонівської глибини проникнення магнітного поля в надпровідники. Проаналізувати причини явища квантування магнітного потоку у надпровідних циліндрах. | 2               |
| 5     | Ознайомитись з впливом магнітного поля на контакт Джозефсона. Розглянути інший спосіб отримання рівняння синус-Гордона при розгляді контакту Джозефсона як довгої лінії.  | 2               |
| 6     | Побудувати залежності критичного струму від магнітного поля в контакті з двома широкими бар'єрами різної довжини по краях та непроникною для струму серединою.  | 2               |
| 7     | Вивчити умови квантування магнітного потоку в надпровідних кільцях з одним та двома контактами. Побудувати залежності екрануючого струму від магнітного поля для таких систем при різних значеннях індуктивності кільця.        | 1               |
| 8     | Вивчити принцип вимірювання магнітного поля за допомогою двохконтактного інтерферометра.  | 2               |



|    |  |   |
|----|--|---|
| 9  | Ознайомитися з ефектом Ааронова - Бома в надпровідних контурах з контактами Джозефсона.  | 1 |
| 10 | Вивчити принципи дії фазового, потокового та зарядового кубітів. Змодельовати потоковий кубіт.   | 1 |
| 11 | Вивчити вплив геометричних розмірів контактів на їх вольт - амперні характеристики. Змодельовати сходинки Фіске.   | 2 |
| 12 | Проаналізувати зміну амплітуди сходинок Шапіро на вольт-амперній характеристиці з номером сходинки.  | 2 |
| 13 | Визначити параметри, які дозволяють отримати випромінювання від контакту при руху вихорів.   | 2 |
| 14 | Ознайомитись з явищем розщеплення сходинок Фіске у пачках контактів Джозефсона з індуктивною взаємодією.   | 2 |
| 15 | Проаналізувати експериментальні результати, які дозволяють розглядати структуру шаруватих високотемпературних надпровідників як пачки внутрішніх контактів Джозефсона. Визначити, які параметри дозволяють отримати найбільш високу частоту випромінювання від високотемпературних надпровідників. | 2 |
| 16 | Ознайомитись з динамічним ефектом Казимира в надпровідній довгій лінії.  | 1 |
| 25 | Ознайомитись з особливостями люмінесценції у діелектриках, напівпровідниках та провідниках   | 2 |
| 26 | Ознайомитись з порівняльними характеристиками різних джерел випромінювання (світлодіоди, лазерні діоди тощо)   | 3 |
| 27 | Ознайомитись із характеристиками радіолюмінесцентних сцинтиляторів при високій/низькій щільності активації   | 3 |
| 28 | Ознайомитись з особливостями люмінесценції середовищ, що включають люмінесцентні наночастинки  | 4 |
| 29 | Ознайомитись із типами штучних діелектриків та штучних магнетиків  | 2 |
| 30 | Ознайомитись із впливом матеріальних параметрів середовищ на розв'язання рівнянь Максвелла   | 2 |
| 31 | Ознайомитись із розв'язанням рівняння Блоха для магнітного моменту.  | 2 |
| 32 | Ознайомитись із законом Друде для природних провідників, діелектриків та мета матеріалів   | 2 |
| 33 | Ознайомитись із діапазонами негативних та позитивних значень діелектричної та магнітної проникності  | 2 |
| 34 | Ознайомитись із засадами формування зонної структури частотного спектра фотонного кристала   | 2 |
| 35 | Ознайомитись із методом матриць передачі   | 2 |
| 36 | Ознайомитись із звичайними та незвичайними хвилями у магнітофотонному кристалі   | 2 |
| 37 | Ознайомитись із станами Тамма та їхньою природою   | 2 |
| 38 | Ознайомитись із ефектом Фарадея у фотонному кристалі   | 2 |
| 39 | Ознайомитись із спотвореннями спектра та дефектними модами у фотонному кристалі  | 2 |
| 40 | Ознайомитись із явищами проходження світла крізь структуру поза межних отворів, крізь тонкі металічні пластини   | 2 |
| 41 | Ознайомитись із явищем від'ємної рефракції   | 2 |
| 42 | Ознайомитись із засадами формування зворотної хвилі в одновимірному фотонному кристалі   | 2 |
| 43 | Ознайомитись із явищами оптичної активності, гіротропії  | 2 |
| 44 | Ознайомитись із властивостями лівобічних кіральних метаматеріалів  | 2 |

|              |  |           |
|--------------|--|-----------|
| 45           | Ознайомитись з перевагами квантового комп'ютерингу над класичним.                    | 1         |
| 46           | Розглянути задачу про дворівневу систему у гармонічному полі.                        | 1         |
| 47           | Ознайомитись з поняттями про Пі- та пі-на-чотири імпульси.                           | 1         |
| 48           | Розглянути квантове кінетичне рівняння для осцилятора.                               | 1         |
| 49           | Розглянути кінетичне рівняння для зет-зет взаємодії.                                 | 1         |
| 50           | Ознайомитись з рівняння Блоха-Редфільда для зет-зет взаємодії.                       | 2         |
| 51           | Прочитати про твердотільні к'юбіти.  | 1         |
| 52           | Зчитування інформації для молекулярних к'юбітів.                                     | 1         |
| 53           | Ознайомитись з поняттям про час релаксації над провідникових к'юбітів.               | 2         |
| 54           | Ознайомитись із сучасними поняттями про зростання складності алгоритмів.             | 2         |
| 55           | Ознайомитись із методами зчитування інформації для задач, що вирішуються паралельно. | 1         |
| 56           | Додаткова інформація та ефективність передачі інформації.                            | 1         |
| 57           | Знаходження періоду функції за допомогою квантового комп'ютеру.                      | 1         |
| 58           | Застосування алгоритму Шора.   | 1         |
| 59           | Обмеження на час роботи алгоритму.   | 1         |
| 60           | Зчитування інформації у над провідникових к'юбітах.                                  | 2         |
| 61           | Вимірювання комплексної координати осцилятора не деструктивним методом.              | 2         |
| 62           | Ознайомитись із сучасними реалізаціями к'юбітів.                                     | 2         |
| <b>Разом</b> |  | <b>96</b> |
|              |  |           |

## 6. Індивідуальні завдання

Навчальним планом не передбачені

## 7. Методи контролю

Опитування студентів, проведення консультацій; семестровий екзамен.

## 8. Схема нарахування балів

для підсумкового семестрового контролю при проведенні семестрового екзамену або залікової роботи

| Поточний контроль, самостійна робота, індивідуальні завдання |              |              |           |       | Екзамен  | Сума      |
|--|--------------|--------------|-----------|-------|----------|-----------|
| Частина 1  | Частина 2    | Частина 3    | Частина 4 | Разом |          |           |
| Розділ 1   | Розділ 1 - 6 | Розділ 1 - 7 |           | 40    | 60 балів | 100 балів |
| 10 балів   | 10 балів     | 10 балів     | 10 балів  | балів |          |           |

### Критерії оцінювання навчальних досягнень студентів із навчальної дисципліни

Навчальні досягнення студентів з навчальної дисципліни «Сучасні проблеми фізики» оцінюються в балах, максимальна загальна сума яких становить 100. Вона складається із 40 балів, які студент може отримати протягом семестру в результаті проходження поточного контролю, та 60 балів, які студент може отримати в результаті проходження підсумкового контролю у вигляді екзамену.

Ступінь засвоєння знань студентами (поточний контроль знань) проводиться шляхом їх усного або письмового опитування у під час лекційних занять. Максимальна кількість балів за вичерпні відповіді на запитання за умови стовідсоткового відвідування лекційних занять складає 40 (по 10 балів за кожну частину навчальної дисципліни).

Екзаменаційне білет складається із 4 завдань відкритого типу, сформульованих у вигляді конкретних вузлових питань за програмою навчальної дисципліни. Вичерпна

Відповідь на кожне з них повинна бути аргументованою, чітко, логічно та послідовно викладеною. За необхідності висновок повинен підсумовувати або узагальнювати викладене. Правильне виконання кожного з 4 завдань, що входять до екзаменаційного білета, оцінюється 15 балами.

### Шкала оцінювання

| Сума балів за всі види навчальної діяльності протягом семестру | Оцінка                              |                                  |
|--|-------------------------------------|----------------------------------|
|  | для чотирирівневої шкали оцінювання | для дворівневої шкали оцінювання |
| 90 – 100   | відмінно                            | зараховано                       |
| 70-89  | добре                               |                                  |
| 50-69  | задовільно                          |                                  |
| 1-49   | незадовільно                        | не зараховано                    |

## 9. Рекомендована література

### Основна література

1. Локтев В. Лекції з фізики надпровідності / В. М. Локтев // Київ : ІТФ НАН України, 2011. — 276 с.
2. Свідзинський А. Мікроскопічна теорія надпровідності. II / А. В. Свідзинський // Луцьк : РВВ «Вежа» Волин. держ. ун-ту ім. Лесі Українки, 2003. – Ч. 2. – 170 с.
3. Barone A. Physics and application of the Josephson effect /A. Barone and G. Paternò // New York: Wiley.- 1982.- 529 P.
4. De Gennes P. Superconductivity of metals and alloys / P. G. De Gennes//New York-Amsterdam: W. A. Benjamin Inc.- 1966.-292 P.

### Допоміжна література

1. Likharev K. Dynamics of Josephson junctions and circuits / K.K. Likharev // Philadelphia: Gordon and Breach.- 1991.- 614 P.
2. Solymar L. Superconducting tunneling and applications // L. Solymar // London: Chapman and Hall Ltd.- 1972.- 406 P.
3. Tinkham M. Introduction to superconductivity / M. Tinkham // New York: McGraw Hill Inc.- 1996.- 454 P.
4. Schmidt V. The Physics of Superconductors / V. V. Schmidt / Berlin: Springer.- 1997.- 206 P.

## 10. Посилання на інформаційні ресурси в Інтернеті, відео-лекції, інше методичне забезпечення

Вікіпедія:

1. [https://uk.wikipedia.org/wiki/Ефект\\_Джозефсона](https://uk.wikipedia.org/wiki/Ефект_Джозефсона)
2. <https://uk.wikipedia.org/wiki/Кубіт>
3. [https://uk.wikipedia.org/wiki/Андрєєвське\\_відбиття](https://uk.wikipedia.org/wiki/Андрєєвське_відбиття)
4. [Високотемпературна надпровідність — Вікіпедія \(wikipedia.org\)](https://uk.wikipedia.org/wiki/Високотемпературна_надпровідність)
5. [Квант магнітного потоку — Вікіпедія \(wikipedia.org\)](https://uk.wikipedia.org/wiki/Квант_магнітного_потoku)
6. [https://ru.wikipedia.org/wiki/Квантовый\\_компьютер](https://ru.wikipedia.org/wiki/Квантовый_компьютер)
7. [https://uk.wikipedia.org/wiki/Квантовый\\_комп%27ютер](https://uk.wikipedia.org/wiki/Квантовый_комп%27ютер)