

Міністерство освіти і науки України

Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна

Кафедра фізики низьких температур і теоретичної фізики

“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Проректор з науково-педагогічної  
роботи

  
 Доктор Михайло А.  
20\_\_ 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-наукова програма «Фізика»

спеціалізація \_\_\_\_\_  
(шифр, назва)

вид дисципліни нормативна

факультет фізичний

Програму рекомендовано до затвердження Вченою радою фізичного факультету

“ 31 ” 08 2021 року, протокол № 7

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

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

Програму схвалено на засіданні кафедри  
фізики низьких температур

Протокол від “ 29 ” 08 2021 року, № 17

В.о. завідувача кафедри фізики низьких температур



(підпис)

( Шкловський В.О )

(прізвище та ініціали)

Програму схвалено на засіданні кафедри  
фізичної оптики

Протокол від “ 29 ” 08 2021 року, № 10

В.о. завідувача кафедри фізичної оптики



(підпис)

( Галунов М.З. )

(прізвище та ініціали)

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

Протокол від “ 30 ” 06 2021 року, № 11

Завідувач кафедри теоретичної фізики академіка. М. Ліфшиця



(підпис)

( Рашба Г.І. )

(прізвище та ініціали)

Програму погоджено методичною комісією  
фізичного факультету

назва факультету, для здобувачів вищої освіти якого викладається навчальна дисципліна

Протокол від “ 31 ” 08 2021 року № 1

Голова методичної комісії фізичного факультету



(підпис)

( Макаровський М.О. )

(прізвище та ініціали)

Гарант ОНП



(підпис)

Юрій БОЙКО

(ім'я та прізвище)

## ВСТУП

Програма навчальної дисципліни «Сучасні проблеми фізики» укладена відповідно до освітньо-професійних 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.

#### 1.3. Кількість кредитів : 8

#### 1.4. Загальна кількість годин : 240

| 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                                    |                                     |
| 144 год.                                  | год.                                |
| Практичні, семінарські заняття            |                                     |
| год.                                      | год.                                |
| Лабораторні заняття                       |                                     |
| год.                                      | год.                                |
| Самостійна робота                         |                                     |
| 96 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.

## 2. Тематичний план навчальної дисципліни

### 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. 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. Алгоритм моделювання вольт-амперних характеристик контактів у межах резистивно-ємнісної моделі методом Рунге-Кутта.

Тема 3. Електродинаміка контактів Джозефсона. Вплив магнітного поля на контакт Джозефсона. Джозефсонівська глибина проникнення магнітного поля. Джозефсонівські вихорі. Залежності критичного струму контакту від магнітного поля при однорідному та неоднорідному розподілах критичного струму вздовж контакту.

Тема 4. Надпровідні кільця з одним та двома контактами. Ефект Ааронова - Бома в надпровідних контурах з контактами Джозефсона. Критичний струм двохконтактного інтерферометра. Вимірювання магнітного поля за допомогою двохконтактних інтерферометрів.

Тема 5. Резонансні моди у контактах. Теорія сходинок Фіске у зовнішньому магнітному полі для контактів з малими та великими значеннями добротності. Рух джозефсонівських вихорів у довгих контактах. Довгий контакт як джерело випромінювання електромагнітних хвиль. Сходинки нульового поля у контактах з неоднорідним розподілом критичних струмів. Асиметричний інтерферометр.

Тема 6. Дія зовнішнього випромінювання на контакт. Сходинки Шاپіро на вольт-амперній характеристиці контакту. Використання контактів Джозефсона у метрології.

Тема 7. ВАХ та потужність випромінювання контактів у зовнішніх системах. Теорія синхронізації випромінювання багатьох контактів. Синхронізація випромінювання контактів у ланцюгу з індуктивним та резистивним навантаженням, у резонаторі та у довгій лінії. Лазер на основі контактів Джозефсона.

Тема 8. 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. Внутрішній ефект Джозефсона у високотемпературних надпровідниках. Високотемпературні надпровідники як джерела субтерагерцового та терагерцового випромінювання.

Тема 9. Контакт Джозефсона як квантова двохрівнева система. Осциляції Рабі в двохрівневій системі. Переплутування квантових станів. Фазовий, потоковий та зарядовий кубіти. Математичне моделювання потокового кубіту.

Тема 10. Тунельний ефект у надпровідниках. Розгляд вольт-амперних характеристик тунельних контактів критичного струму у рамках теорії Бардіна-Купера-Шріффера. Тунельна модель джозефсонівського контакту. Залежність Амбегаокера-Баратова для температурної залежності критичного струму.

Тема 11. Метод амплітуд, які повільно змінюються. Розрахунок вольт-амперних характеристик контактів з ємністю методом амплітуд, які повільно змінюються. Використання методу амплітуд, які повільно змінюються, для розрахунків висот сходинок Шاپіро та потужності когерентного випромінювання.

Тема 12. Динамічний ефект Казимира в надпровідній довгій лінії. 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. Усереднення 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 сцинтилятори
- Тема 2. Іонізуюче випромінювання. Процеси, що виникають під дією іонізуючого випромінювання. Енергія зв'язку сцинтиляторів. Ковзні та лобові зіткнення. Треки частинок. Первинні короткоживучі збуджені стани. Плазмони, особливості їхнього збудження у різноманітних речовинах. Суперзбуджені стани
- Тема 3. Загальні аспекти застосування сцинтиляторів. Оцінювання впливу безпосередньо іонізуючих випромінювань. Рекомбінаційна радіолюмінесценція лужно-галоїдних кристалів, органічних конденсованих середовищ. Кінетика формування імпульсу радіолюмінесценції. Радіолюмінесценція у областях із високою/низькою щільністю активації. Відмінності у формуванні сцинтиляційних спалахів у неорганічних та органічних сцинтиляторах

#### **Розділ 6. Порівняльні характеристики люмінесцентних нанооб'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 кіральний 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'ютингу.

### 3. Структура навчальної дисципліни

| Назви розділів і тем       | Кількість годин |              |   |      |      |          |              |              |    |      |      |          |
|----------------------------|-----------------|--------------|---|------|------|----------|--------------|--------------|----|------|------|----------|
|                            | денна форма     |              |   |      |      |          | заочна форма |              |    |      |      |          |
|                            | усього          | у тому числі |   |      |      |          | Усього       | у тому числі |    |      |      |          |
|                            |                 | л            | п | лаб. | інд. | с.<br>р. |              | л            | п  | лаб. | інд. | с.<br>р. |
| 1                          | 2               | 3            | 4 | 5    | 6    | 7        | 8            | 9            | 10 | 11   | 12   | 13       |
| Частина 1.                 |                 |              |   |      |      |          |              |              |    |      |      |          |
| Розділ 1.                  |                 |              |   |      |      |          |              |              |    |      |      |          |
| Тема 1                     | 4               | 2            |   |      |      | 2        |              |              |    |      |      |          |
| Тема 2                     | 5               | 3            |   |      |      | 2        |              |              |    |      |      |          |
| Тема 3                     | 6               | 4            |   |      |      | 2        |              |              |    |      |      |          |
| Тема 4                     | 6               | 4            |   |      |      | 2        |              |              |    |      |      |          |
| Тема 5                     | 5               | 3            |   |      |      | 2        |              |              |    |      |      |          |
| Тема 6                     | 4               | 2            |   |      |      | 2        |              |              |    |      |      |          |
| Тема 7                     | 4               | 2            |   |      |      | 2        |              |              |    |      |      |          |
| Тема 8                     | 4               | 2            |   |      |      | 2        |              |              |    |      |      |          |
| Тема 9                     | 4               | 2            |   |      |      | 2        |              |              |    |      |      |          |
| Тема 10                    | 6               | 4            |   |      |      | 2        |              |              |    |      |      |          |
| Тема 11                    | 6               | 4            |   |      |      | 2        |              |              |    |      |      |          |
| Тема 12                    | 6               | 4            |   |      |      | 2        |              |              |    |      |      |          |
| <b>Разом за частиною 1</b> | 60              | 36           |   |      |      | 24       |              |              |    |      |      |          |
| Частина 2.                 |                 |              |   |      |      |          |              |              |    |      |      |          |
| Розділ 1.                  |                 |              |   |      |      |          |              |              |    |      |      |          |
| 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        |              |              |    |      |      |          |
| Разом за розділом 1        | <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        |              |              |    |      |      |          |
| Разом за розділом 2        | <b>10</b>       | <b>6</b>     |   |      |      | <b>4</b> |              |              |    |      |      |          |
| <b>Розділ 3.</b>           |                 |              |   |      |      |          |              |              |    |      |      |          |
| Тема 1.                    | 4               | 3            |   |      |      | 1        |              |              |    |      |      |          |
| Тема 2.                    | 4               | 3            |   |      |      | 1        |              |              |    |      |      |          |
| Разом за розділом 3        | <b>8</b>        | <b>6</b>     |   |      |      | <b>2</b> |              |              |    |      |      |          |
| Розділ 4.                  |                 |              |   |      |      |          |              |              |    |      |      |          |
| Тема 1.                    | 4               | 2            |   |      |      | 2        |              |              |    |      |      |          |
| Тема 2.                    | 4               | 2            |   |      |      | 2        |              |              |    |      |      |          |
| Разом за розділом 4        | <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        |              |              |    |      |      |          |

|                            |           |           |  |  |  |           |  |  |  |  |  |  |
|----------------------------|-----------|-----------|--|--|--|-----------|--|--|--|--|--|--|
| Разом за розділом 5        | 12        | 6         |  |  |  | 6         |  |  |  |  |  |  |
| Розділ 6.                  |           |           |  |  |  |           |  |  |  |  |  |  |
| Тема 1.                    | 4         | 3         |  |  |  | 1         |  |  |  |  |  |  |
| Тема 2.                    | 4         | 3         |  |  |  | 1         |  |  |  |  |  |  |
| Разом за розділом 6        | 8         | 6         |  |  |  | 2         |  |  |  |  |  |  |
| <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        | 3         | 2         |  |  |  | 1         |  |  |  |  |  |  |
| Розділ 2.                  |           |           |  |  |  |           |  |  |  |  |  |  |
| Тема 1                     | 3         | 3         |  |  |  | 1         |  |  |  |  |  |  |
| Разом за розділом 2        | 4         | 3         |  |  |  | 1         |  |  |  |  |  |  |
| <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 ефектами Джозефсона, різновидами слабких зв'язків та методами отримання контактів Джозефсона.                       | 2               |
| 2     | Розрахувати амплітуди гармонік джозефсонівського випромінювання для резистивної моделі контакту. Змодельовати вольт - амперні характеристики контактів з ємністю. | 2               |
| 3     | Ознайомитись з впливом магнітного поля на контакт Джозефсона.                                                                                                     | 2               |
| 4     | Вивчити принцип вимірювання магнітного поля за допомогою двохконтактного інтерферометра.                                                                          | 2               |
| 5     | Вивчити вплив розмірів контактів на їх вольт - амперні характеристики (сходінки Фіске).                                                                           | 2               |
| 6     | Проаналізувати утворення сходінок Шапіро на вольт-амперній характеристиці при різній силі зовнішнього високочастотного струму.                                    | 2               |
| 7     | Опрацювати теорію синхронізації випромінювання ланцюга з двох                                                                                                     | 2               |

|    |                                                                                                                                                                   |   |
|----|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|
|    | контактів з індуктивним, резистивним та ємнісним навантаженням.                                                                                                   |   |
| 8  | Ознайомитись з явищами у пачках контактів Джозефсона.                                                                                                             | 2 |
| 9  | Вивчити принципи дії фазового, потокового та зарядового кубітів.                                                                                                  | 2 |
| 10 | Ознайомитись з тунельною моделлю контакту Джозефсона.                                                                                                             | 2 |
| 11 | Вивчити принципи використання методу амплітуд, які повільно змінюються, для розрахунку вольт-амперних характеристик контактів з ємністю та висот сходинок Шапіро. | 2 |
| 12 | Ознайомитись з динамічним ефектом Казимира в надпровідній довгій лінії.                                                                                           | 2 |
| 10 | Ознайомитись з ефектами Яна–Теллера                                                                                                                               | 2 |
| 11 | Ознайомитись із відмінностями перенесення енергії при люмінесценції у жорстких та рідких розчинах                                                                 | 2 |
| 12 | Ознайомитись з особливостями люмінесценції у діелектриках, напівпровідниках та провідниках                                                                        | 2 |
| 13 | Ознайомитись з порівняльними характеристиками різних джерел випромінювання (світлодіоди, лазерні діоди тощо)                                                      | 3 |
| 14 | Ознайомитись із характеристиками радіолюмінесцентних сцинтиляторів при високій/низькій щільності активації                                                        | 3 |
| 15 | Ознайомитись з особливостями люмінесценції середовищ, що включають люмінесцентні наночастинки                                                                     | 4 |
| 16 | Ознайомитись із типами штучних діелектриків та штучних магнетиків                                                                                                 | 2 |
| 17 | Ознайомитись із впливом матеріальних параметрів середовищ на розв’язання рівнянь Максвелла                                                                        | 2 |
| 18 | Ознайомитись із розв’язанням рівняння Блоха для магнітного моменту.                                                                                               | 2 |
| 19 | Ознайомитись із законом Друде для природних провідників, діелектриків та мета матеріалів                                                                          | 2 |
| 20 | Ознайомитись із діапазонами негативних та позитивних значень діелектричної та магнітної проникності                                                               | 2 |
| 21 | Ознайомитись із засадами формування зонної структури частотного спектра фотонного кристала                                                                        | 2 |
| 22 | Ознайомитись із методом матриць передачі                                                                                                                          | 2 |
| 23 | Ознайомитись із звичайними та незвичайними хвилями у магнітофотонному кристалі                                                                                    | 2 |
| 24 | Ознайомитись із станами Тамма та їхньою природою                                                                                                                  | 2 |
| 25 | Ознайомитись із ефектом Фарадея у фотонному кристалі                                                                                                              | 2 |
| 26 | Ознайомитись із спотвореннями спектра та дефектними модами у фотонному кристалі                                                                                   | 2 |
| 27 | Ознайомитись із явищами проходження світла крізь структуру поза межних отворів, крізь тонкі металічні пластини                                                    | 2 |
| 28 | Ознайомитись із явищем від’ємної рефракції                                                                                                                        | 2 |
| 29 | Ознайомитись із засадами формування зворотної хвилі в одновимірному фотонному кристалі                                                                            | 2 |
| 30 | Ознайомитись із явищами оптичної активності, гіротропії                                                                                                           | 2 |
| 31 | Ознайомитись із властивостями лівобічних кіральних метаматеріалів                                                                                                 | 2 |
| 32 | Ознайомитись з перевагами квантового комп’ютингу над класичним.                                                                                                   | 1 |
| 33 | Розглянути задачу про дворівневу систему у гармонічному полі.                                                                                                     | 1 |
| 34 | Ознайомитись з поняттями про $\Pi$ - та $\pi$ -на-чотири імпульси.                                                                                                | 1 |
| 35 | Розглянути квантове кінетичне рівняння для осцилятора.                                                                                                            | 1 |

|              |                                                                                      |           |
|--------------|--------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 36           | Розглянути кінетичне рівняння для зет-зет взаємодії.                                 | 1         |
| 37           | Ознайомитись з рівняння Блоха-Редфільда для зет-зет взаємодії.                       | 2         |
| 38           | Прочитати про твердотільні кюбіти.                                                   | 1         |
| 39           | Зчитування інформації для молекулярних кюбітів.                                      | 1         |
| 40           | Ознайомитись з поняттям про час релаксації над провідникових кюбітів.                | 2         |
| 41           | Ознайомитись із сучасними поняттями про зростання складності алгоритмів.             | 2         |
| 42           | Ознайомитись із методами зчитування інформації для задач, що вирішуються паралельно. | 1         |
| 43           | Додаткова інформація та ефективність передачі інформації.                            | 1         |
| 44           | Знаходження періоду функції за допомогою квантового комп'ютеру.                      | 1         |
| 45           | Застосування алгоритму Шора.                                                         | 1         |
| 46           | Обмеження на час роботи алгоритму.                                                   | 1         |
| 47           | Зчитування інформації у над провідникових кюбітах.                                   | 2         |
| 48           | Вимірювання комплексної координати осцилятора не деструктивним методом.              | 2         |
| 49           | 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 екзамєн.

### 8. Схема нарахування балів

Приклад для підсумкового семестрового контролю при проведенні семестрового екзамєну або залікової роботи

| Поточний контроль, самостійна робота, індивідуальні завдання |              |              |           |       | Екзамєн  | 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 екзамєну.

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 кожен частину навчальної дисципліни).

Екзамєнаційне 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. А. Бароне, Дж. Патерно. Эффект Джозефсона.- М.-Мир, 1984, 640 с.
2. К. К. Лихарев, Б. Т. Ульрих. Системы с джозефсоновскими контактами. – М.: Изд-во МГУ, 1978. – 446 с.
3. В. В. Шмидт. Введение в физику сверхпроводников, М., Наука, 1982, 238 с.
4. И. О. Кулик, И. К. Янсон, Эффект Джозефсона в сверхпроводящих туннельных структурах, М., Наука, 1970, 250 с.
5. Степанов Б.И., Грибковский В. П. Введение в теорию люминесценции. – Изд. АН БССР, 1963.
6. Левшин Л. В., Салецкий А. М. Люминесценция и ее измерения. – М.: Изд. МГУ, 1989.
7. Кюри Д. Люминесценция кристаллов. – М.: ИЛ, 1961.
8. Левшин В.Л., Левшин Л.В. Люминесценция и ее применение. – М.: Наука, 1972.
9. Феофилов П.. Поляризованная люминесценция атомов, молекул и кристаллов. – М.: Физматгиз, 1958.
10. Бабушкин А.А., Бажулин П. А., Королев Ф. А. и др. Методы спектрального анализа. – М.: Изд. МГУ, 1962.
11. Serdukiov, I Senchenko, S Tretyakobv, A Sihvola Electromagenitc of Bi-anisotropic Materials: Theory and Applications A, Gordon and Breach Science Publishers, 2001, 312 p.
12. Ricardo Marques, Ferran Martin, Mario Sorolla Metamaterials with Negative Parameters, Theory, Design, and Microwave Applications, – John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey. – 2008. – 315 p.
13. Микаэлян Л.А. Методы расчета диэлектрической и магнитной проницаемости искусственных сред // Радиотехника. 1955. – Т. 10. – № 1., с.23-36.
14. Щелкунов С.А., Фриис Г. Антенны: теория и практика (Пер. с англ.) / Под ред. Л.Д. Бахраха. М.: Сов. радио. – 1955. – 604 с.
15. Бауместер Д., Экерт А., Цайлингер А. (ред). Физика квантовой информации. – М.: ПостмаркетМир, 2002.
16. Валиев К.А. Квантовые компьютеры и квантовые вычисления // Успехи физических наук, том 175 (2005).
17. Килин С.Я. Квантовая информация // Успехи физических наук, том 169, (1999).
18. Котина С.В. Поиск красоты. Роль эстетических ориентиров в формирующейся научной теории. – М.: Вестком, 2002.
19. Манько В.И. «Исследования по истории физики и механики» (под ред. Г.М. Иддиса) – М.: Наука, 2003.

20. Нильсен М., Чанг И. Квантовые вычисления и квантовая информация: Пер. с англ. – М.: Мир, 2006.
21. Фейнман Р. Моделирование физики на компьютерах. В сборнике статей «Квантовый компьютер и квантовые вычисления», том 2, под ред. Садовниченко В.А. – Ижевск: Регулярная и хаотическая динамика, 1999.
22. Холево А.С. Введение в квантовую теорию информации. – М. МЦНМО, 2002.

### 1. Допоміжна література

1. Л. Солимар. Туннельный эффект в сверхпроводниках и его применение. – М.: Мир, 1974, 428с.
2. А. А. Абрикосов. Основы теории металлов. – М.: Наука, 1987, 520 с.
3. Де Жен П. Сверхпроводимость металлов и сплавов. М.: Мир, 1968.- 279 с.
4. Тинкхам М. Введение в сверхпроводимость.- М.: Атомиздат, 1980. - 312 с.
5. Мандельштам Л.И. Лекции по оптике, теории относительности и квантовой механике // Под ред. Чл.-корр. АН СССР С.М. Рытова. М.: Наука, 1972.-С.437.
6. Веселаго В.Г. Электродинамика веществ с одновременно отрицательными значениями  $\epsilon$  и  $\mu$  // И Успехи физических наук. 1967. -Т. 92.-№ 7.-С. 517-526.
7. Low frequency plasmons in thin wire structures / Pendry J.B., Holden A.J., Robbins D.J., Stewart W.J. // J. Phys.: Condens Matter. - 1998. -V.10. - P. 4785-4809.
8. Метаматериалы и их применение в технике сверхвысоких частот
  - а. (Обзор) И.Б. Вендик, О.Г. Вендик, Журнал технической физики, 2013, том 83, вып. 1, 3-28 с
9. Optical Metamaterials Fundamentals and Applications, Wenshan Cai <sup>2</sup> Vladimir Shalaev, Springer Science+Business Media, LLC 2010, 206P
10. Microwaves in Dispersive Magnetic Composite Media0 (Review Article), S.I. Tarapov, and D.P. Belozorov, Low Temperature Physics (AIP Publ.), 2012, v.38, p.603-625
11. Поверхностные электромагнитные состояния в структуре фотонный кристалл-феррит-плазмоподобная среда, Ю.О. Аверков, С.И. Тарапов, А.А. Харченко, В.М. Яковенко, Физика низких температур, 2014, т.40, № 7, с.856–863
12. Resonant features of planar Faraday metamaterial with high structural symmetry. Study of properties of a 4-fold array of planar chiral rosettes placed on a ferrite substrate, Sergey Y. Polevoy, Sergey L. Prosvirnin, Sergey I. Tarapov, and Vladimir R. Tuz, The European Physical Journal Applied Physics, 2013, v.61, N 03, pp.30501(1-7).
13. Pendry J.B. Negative Refraction Makes a Perfect Lens. // Phys. Rev. Lett. - 2000.-V.85.-P.3966-3969
14. Pendry J. A chiral route to negative refraction // Science. 2004. - V. 306. - P. 1353- 1955.
15. Холево А.С. Квантовая информатика: прошлое, настоящее, будущее // В мире науки, № 7, (2008).
16. Хренников А.Ю. Введение в квантовую теорию информации. – М.: Физматлит, 2008.

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

Вікіпедія:

[https://uk.wikipedia.org/wiki/Ефект\\_Джозефсона](https://uk.wikipedia.org/wiki/Ефект_Джозефсона)  
<https://uk.wikipedia.org/wiki/Кубіт>  
[https://uk.wikipedia.org/wiki/Андрєєвське\\_відбиття](https://uk.wikipedia.org/wiki/Андрєєвське_відбиття)  
[https://ru.wikipedia.org/wiki/Квантовый\\_компьютер](https://ru.wikipedia.org/wiki/Квантовый_компьютер)  
[https://uk.wikipedia.org/wiki/Квантовый\\_комп%27ютер](https://uk.wikipedia.org/wiki/Квантовый_комп%27ютер)

Електронні книжки

[http://www.vargin.mephi.ru/book\\_ph\\_tvtelo.html](http://www.vargin.mephi.ru/book_ph_tvtelo.html)  
[http://www.vargin.mephi.ru/book\\_phys.html](http://www.vargin.mephi.ru/book_phys.html)  
[http://vargin.mephi.ru/book/ph\\_razn.html](http://vargin.mephi.ru/book/ph_razn.html)

Квантовий комп'ютер D-Wave:

<http://www.dwavesys.com/quantum-computing>  
<http://ain.ua/2015/12/10/620973>

MIT Lecture Course <http://web.mit.edu/2.111/www/index.htm>