

Міністерство освіти і науки України  
Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника

“ЗАТВЕРДЖУЮ”

голова Приймальної комісії

 проф. Ігор Цепенда  
«24» квітня 2023 р



ПРОГРАМА

вступного випробування з

**Фізики твердого тіла**

для зарахування на навчання за ступенем доктора філософії за спеціальністю

**104 Фізика та астрономія**

на основі освітнього рівня магістра (освітньо-кваліфікаційного ступеня спеціаліста) при прийомі на навчання у 2023 році

Розглянуто та схвалено

на засіданні Приймальної комісії

Прикарпатського національного

університету імені Василя Стефаника

Протокол №\_1 від 24/04/ 2023 р.

## ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

Метою вступного випробування з «Фізики твердого тіла» є перевірка знань і відбір вступників для зарахування на навчання за ступенем доктора філософії за спеціальністю **104 Фізика та астрономія** при прийомі на навчання на основі освітнього рівня магістра (освітньо-кваліфікаційного ступеня спеціаліста) до Прикарпатського національного університету імені Василя Стефаника» у 2023 році за суміжною спеціальністю.

Програма містить основні питання з Фізики твердого тіла та перелік рекомендованої літератури.

Наведений перелік питань, які виносяться на вступне випробування дасть можливість вступнику систематизувати свої знання та допоможе зорієнтуватися, на які питання треба звернути увагу при підготовці до вступного випробування.

Перелік рекомендованої літератури сприятиме у пошуку і підборі джерел підготовки для вступного випробування.

## ОСНОВНІ ПИТАННЯ З ДИСЦИПЛІНИ

### I. Структура твердих тіл

1. Кристалічні та аморфні тіла. Будова кристалів. Трансляційна симетрія. Елементарна комірка. Решітки Браве. Індеси Мілера. Точкові і просторові групи. Особливості поширення хвиль в періодичних структурах. Закон Вульфа-Брега. Обернена ґратка. Зони Бріллюена.

2. Дефекти в кристалах. Точкові дефекти, їх утворення та дифузія. Вакансії. Комбінації атомних дефектів. Крайові та гвинтові дислокації. Вектор Бюргерса. Енергія дислокацій. Рух дислокацій. Переповзання та сковзання. Механізми утворення дислокацій в кристалах. Вплив радіаційних, механічних та термічних дій на реальну структуру твердих тіл.

3. Типи хімічного зв'язку в кристалах. Міжатомна взаємодія та сили зв'язку у твердому тілі. Структурні та фізичні особливості іонних, ковалентних, металічних та молекулярних кристалів. Щільнозапаковані структури.

4. Аморфні тіла – методи отримання та дифракційного дослідження структури. Рідинні кристали. Близький та далекий порядок. Напівпровідникове скло.

### II. Енергетичний спектр кристалів

1. Описання енергетичного стану кристалів за допомогою газу квазічастинок. Приклади квазічастинок. Фонони, магнони, ексітони, плазмони та ін. Електрони в металі як квазічастинки. Квазіімпульс. Закон

дисперсії. Теорема Блоха. Граничні умови. Густина станів. Статистика газу квазічастинок. Бозони та ферміони. Взаємодія квазічастинок.

2. Коливання кристалічної решітки – фонони. Акустична та оптична вітки коливань, Теплоємність решітки. Дебайвська частота. Фактор Дебая-Валлера в розсіюванні рентгенівських променів. Ангармонізм та теплове розширення.

3. Електронні стани в кристалах. Одноелектронна модель. Наближення слабо і сильно зв'язаних електронів. Зона схема та типи твердих тіл. Вироджений електронний газ. Електронна теплоємність, поверхня Фермі. Тензор ефективних мас. Електрони та дірки. Циклотронна маса. Положення Фермі-рівня в неvirоджених напівпровідниках.

4. Явища в контактах. Потенціальні бар'єри. Контактна різниця потенціалів. Струми, обмежені просторовим зарядом. Бар'єр Шоттки. Квазідвобірні системи в напівпровідниках: гетероструктури, МДН-структури (метал-діелектрик напівпровідник). Розмірне квантування електронного спектра.

5. Електронний спектр та густина станів електронів в квантуючому магнітному полі. Ефект де Гааза-ван-Альфена. Спектр квазі-двобірних електронів в поперечному квантуючому магнітному полі.

### **III. Електронні кінетичні властивості твердих тіл**

1 Кінетичні рівняння. Електро- та теплопровідність. Тривалість релаксування. Механізми розсіювання електронів. Розсіювання на домішках і дефектах. Електрон-фононні зіткнення. Нормальні процеси, процеси перекиду. Іонна провідність кристалів. Суперіонна провідність. Магнітоопір та ефект Холла. Квантовий ефект Холла.

2. Напівпровідники. Електронна структура типових напівпровідників. Германій та кремній. Домішкові рівні. Донори та акцептори, р-п-переходи. Фотопровідність. Рекомбінація та релаксація нерівноважних носіїв. Гарячі носії. Ефект Гана.

3. Теплоємність. Температурна залежність теплоємності. Моделі Ейнштейна та Дебая.

### **IV. Оптичні та магнітні явища твердих тіл**

1. Атомний магнетизм. Магнітні властивості слабомагнітних речовин. Класифікація та основні властивості магнетиків. Діамагнетизм системи слабо взаємодіючих атомів і молекул. Діамагнетизм та парамагнетизм твердих тіл. Природа феромагнетизму. Домени. Антиферомагнетизм і феромагнетизм.

2. Механізми поглинання фотонів. Поглинання вільними носіями. Решітчасте поглинання. Багатофононні процеси. Комбінаційне розсіювання світла в кристалах. Поглинання зв'язаними носіями. Правила відбору. Міжзонні прямі та непрямі переходи. Люмінесценція кристалів. Рекомбінаційне випромінювання в діелектриках та напівпровідниках.

Спонтанне і вимушене випромінювання. Лазери. Різні типи ОКГ та принцип їх дії.

3. Діамагнетизм вільного електронного газу. Спіновий парамагнетизм. Закон Кюрі. Феромагнетизм. Молекулярне поле Вейса. Обмінна взаємодія. Феромагнітні домени. Енергія анізотропії. Доменні стінки. Ангіферомагнетики. Ферити.

## **V. Діелектрики**

1. Ефективне поле. Електрострикція і п'єзоелектрика. Піроелектрики і сегнетоелектрики. Електричний гістерезис. Аномалії фізичних властивостей сегнетоелектриків в області фазових переходів.

## **VI. Термодинаміка і фазові переходи**

1. Фізична природа твердих сполук. Утворення сполук. Закони Рауля і Генрі. Умови необмеженої та обмеженої розчинності. Класифікація проміжних фаз за Курнаковим та Агеєвим. Електронні сполуки. Фази Лавеса. Фаза проникнення.

2. Рівновага фаз. Рушійна сила фазових переходів. Фазові рівноваги у багатокомпонентних системах. Вплив викривлення поверхні на фазову рівновагу. Формула Томсона. Правило фаз. Фазові переходи I і II роду. Мартенситні перетворення. Види термічної обробки. Метастабільний стан. Розпад пересичених твердих розчинів.

3. Діаграми рівноваги. Аналіз діаграм стану з евтектичним, перитектичним, монотектичним, синтектичним та метатектичним перетвореннями, а також діаграм типу «Сигара». Діаграми стану з евтектоїдним, перитектоїдним та монотектоїдним перетвореннями.

4. Кінетика фазових перетворень. Кристалізація. Гомогенне та гетерогенне утворення центрів кристалізації. Робота утворення критичного зародка. Форма та швидкість утворення центрів кристалізації. Направлена кристалізація. Механізми та кінетика росту кристалів. Дифузійна задача росту кристалів (задача Стефана про промерзання, задачі росту кулі).

5. Дифузія в металах та сплавах. Атомна теорія дифузії. Постулати Онзагера. Дифузія проти градієнта концентрації.

6. Переходи метал-діелектрик в системі електронів. Перехід Андерсона. Край рухливості в електронному спектрі. Перехід Мотта. Флуктуації. Тверді розчини та проміжні фази.

## **VII. Надпровідність**

1. Основні властивості надпровідників. Ефект Мейснера. Надпровідники I і II роду. Основи мікроскопічної та термодинамічної теорій. Куперовські пари. Енергетична щілина і квазічастинки в надпровіднику. Тунельний ефект. Ефект Джозефсона. Високотемпературна надпровідність.

## **VIII. Експериментальні методи фізики твердого тіла**

1. X-променеві методи досліджень ідеальної та реальної структури. Електронографія та електронна мікроскопія. Нейтронографія: пружне та непружне когерентне розсіювання, дослідження магнітних структур і фононних спектрів. Електричні та гальваномагнітні вимірювання як методи вивчення електронної структури кристалів і складу домішок у напівпровідниках. Оптичні методи досліджень: використання лазерних джерел світла.

### **ПЕРЕЛІК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ**

1. Юхновський І. Р. Основи квантової механіки навч. Посібник, 2-ге вид., перероб. і доп. К.:Либідь, 2002 .-392 с.
2. Д.М.Заячук. Нанотехнології і наноструктури. Львів:"Львівська політехніка", 2009 .-580 с.
3. Квантова механіка : підручник / І. О. Вакарчук. 4-те вид., доп. Львів : ЛНУ імені Івана Франка, 2012. 872 с.: 78 іл.
4. Основи статистичної фізики та термодинаміки : підруч. для студ. вищ. навч. закл. / С. В. Королюк. - Чернівці : Книги-XXI, 2004. - 348 с. - Бібліогр.: с. 347. - ISBN 966-8653-03-3
5. Прокопів В.В., Горічок І.В., Туровська Л.В. Термодинаміка реальних напівпровідникових кристалів/ Навчальний посібник / В.В. Прокопів, І.В. Горічок, Л.В. Туровська – Івано-Франківськ: Видавництво «Плай» ЦІТ Прикарпатського національного університету імені Василя Стефаника, 2009. – 100 с.
6. О.М. Возняк, В.В. Прокопів, Л.І. Никируй. – Івано-Франківськ: Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника, 2018. –156 с.
7. Стрижак П.Є., Квантова хімія: підручник, К.:ВД "Києво-Могилянська академія", 2009 .-458 с.
8. Фреїк Д.М., Никируй Л.І., Чобанюк В.М. Фізика твердого тіла. Лабораторний практикум. Т. 1. Кристалічна структура. Навчальний посібник.– Івано-Франківськ: Видавничо-дизайнерський відділ ЦІТ „Плай” Прикарпатського національного університету імені Василя Стефаника. – 120 с.
9. Прокопів В.В.Фізика і технологія тонких плівок: навчальний посібник. Івано-Франківськ: ДВНЗ «Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника», 2020. 252 с.
10. Прокопів В.В. Напівпровідникові матеріали функціональної електроніки: навчальний посібник. У 2-х т. –Т. 1. Властивості напівпровідникових матеріалів / Володимир Васильович Прокопів. – Івано-Франківськ: Видавництво ДВНЗ «Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника», 2012. – 76 с.
11. Прокопів В.В. Напівпровідникові матеріали функціональної електроніки: навчальний посібник. У 2-х т. –Т. 2. Власні та домішкові

- точкові дефекти у напівпровідниках / Володимир Васильович Прокопів. – Івано-Франківськ: Видавництво ДВНЗ «Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника», 2012. – 76 с.
12. Поплавський О.П., Рувінський М.А. Основи векторного і тензорного аналізу – Івано-Франківськ: Видавництво Прикарпатського національного університету імені Василя Стефаника, 2011. – 73 с.
  13. І.В. Горічок, Л.В. Туровська, В.В. Прокопів. Термодинаміка реальних напівпровідникових кристалів/. - Івано-Франківськ: Видавництво «Плай» ЦІТ Прикарпатського національного університету імені Василя Стефаника, 2009. –
  14. В.В. Прокопів, В.В. Прокопів (мол.) Напівпровідникові матеріали функціональної електроніки. Навчальний посібник - Івано-Франківськ: Видавництво «Плай» ЦІТ Прикарпатського національного університету імені Василя Стефаника, 2009. – 216 с.
  15. Шпак А. П., Куницький Ю. А., Коротченко О. О., Смик С. Ю. Квантові низькорозмірні системи К.:Академперіодика,2003 .-310 с.
  16. В.П.Кладько. Рентгенооптичні ефекти в багатшарових періодичних квантових структурах: монографія. К.:Наукова Думка,2006 .-287 с.
  17. Ткач М. Квазічастинки у наногетеросистемах. Квантові точки та дроти. Чернівці:ЧНУ,2003 .-312 с.
  18. Павлишин Володимир Іванович, Довгий С.О. Мінералогія:Вступ до мінералогії. Кристалохімія, морфологія і анатомія мінералів. Мікромінералогія і наномінералогія: підручник. К.:КНТ,2008 .-536 с.
  19. Фізика твердого тіла [Текст]/відп. ред. В. І. Архаров,Вип. 2 .- Харків:ХДУ,1972 .-96 с.
  20. Болеста Іван Михайлович Фізика твердого тіла: навч.посібник .- Львів:ЛНУ,2003 .-480 с.
  21. Курик М. В., Цмоць В. М. Фізика твердого тіла. - К.: Вища школа,1985 .-246 с.

## **КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ**

Порядок проведення та критерії оцінювання вступних випробувань регулюється Положенням про організацію вступних випробувань у Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника.