



Затверджую

Голова приймальної комісії
НУ «Запорізька політехніка»

проф. Віктор ГРЕШТА

« 28 » березня 2025 року

ПРОГРАМА

вступного іспиту зі спеціальності

Е6 – ПРИКЛАДНА ФІЗИКА ТА НАНОМАТЕРІАЛИ

для вступників освітньо-наукового ступеня доктор філософії (PhD)

Програму вступного випробування до аспірантури зі спеціальності Е6 «Прикладна фізика та наноматеріали» розроблено в обсязі програми рівня вищої освіти магістра з даної спеціальності та призначено особам, які здобули вищу освіту за ступенем магістра (освітньо-кваліфікаційного рівня спеціаліста), і які мають достатній рівень теоретичних знань, умінь, навичок та інших компетентностей, для продукування нових ідей, оволодіння освітньо-науковою програмою підготовки здобувача вищої освіти ступеня доктора філософії, а також проведення власного наукового дослідження, результати якого мають наукову новизну, теоретичне та/або практичне значення. Вступник до аспірантури повинен продемонструвати повноту знань категорійно-понятійного апарату, нових підходів до трактування окремих понять, категорій та термінів, розуміння їхньої сутності, а також знання фактів, термінології, структур, принципів, закономірностей у галузі прикладної фізики та наноматеріалознавства. Вступник до аспірантури повинен також продемонструвати здатність аналізувати проблему з різних точок зору, показати знання у галузі прикладної фізики та наноматеріалознавства, діапазон володіння вміннями й навичками операційного рівня, методичну грамотність, зокрема сформованість конструктивно-планувальних, проєктувальних, комунікативно-навчальних і дослідницьких умінь. Рівень знань, умінь і навичок вступників до аспірантури

оцінюється балами відповідно до критеріїв оцінювання.

ПРОВЕДЕННЯ ІСПИТУ

Вступний іспит зі спеціальності Е6 – ПРИКЛАДНА ФІЗИКА ТА НАНОМАТЕРІАЛИ для вступників освітньо-наукового ступеня доктор філософії (PhD) проводиться у вигляді тесту. Вступний іспит проводиться очно, в приміщеннях університету. У виняткових випадках, іспит може проводитися у дистанційному форматі, з використанням інформаційного сервісу Системи дистанційного навчання НУ «Запорізька політехніка» (для вступників, які зареєстровані та знаходяться на тимчасово-окупованій території – за зверненням вступника). При використанні дистанційного формату проведення іспиту, обов'язковою є процедура ідентифікації вступника та відеофіксації іспиту.

Використання вступником будь-яких додаткових матеріалів, довідників, електронних пристроїв та ресурсів, допомоги сторонніх осіб під час складання іспиту не допускається.

КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ ЗНАНЬ

Оцінювання знань вступників відбувається за 100-бальною шкалою, або ухвалюється рішення про негативну оцінку вступника «незадовільно».

Іспит складається з 40 питань, вірна відповідь на кожне з яких оцінюється в 2,5 бали.

Тест може проводитись як з використанням паперових носіїв, так і з використанням комп'ютера в Системі дистанційного навчання НУ «Запорізька політехніка». Якщо робота виконується на паперовому носії, питання, в яких зазначено більше однієї відповіді, оцінюються в 0 балів (окрім випадків, коли одна з відмічених відповідей на запитання акуратно закреслена вступником, а інша зазначена акуратно та чітко).

Усі попередні кроки та міркування, що приводять до відповіді на питання, можуть виконуватися вступником на чернетці, та не беруться до уваги при оцінюванні роботи.

ЗМІСТ ПРОГРАМИ ІСПИТУ

При підготовці завдань вступного іспиту зі спеціальності комісія виділила такі основні розділи з переліком тем:

Структура та механічні властивості твердих тіл

Тема 1. Кристалічні та аморфні тіла. Трансляційна симетрія. Елементарна комірка. Ґратка Браве. Класи симетрії. Особливості поширення хвиль в періодичних структурах. Закон Вульфа-Бреґа. Структурний фактор. Обернена ґратка. Зони Бриллюена.

Тема 2. Дефекти у кристалах. Точкові дефекти, їх утворення. Вакансії та атоми проникнення. Густина та швидкість руху вакансій. Кластери точкових дефектів. Крайові та гвинтові дислокації. Вектор Бюргерса. Енергія дислокації. Рух дислокацій. Механізми утворення та розмноження дислокацій у кристалі. Густина дислокацій. Механічні, термічні та радіаційні впливи на реальну структуру твердих тіл.

Тема 3. Тензор деформацій та тензор напружень. Узагальнений закон Гука. Модулі пружності та пружні постійні. Пластичність кристалів. Границя плинності. Зміцнення.

Тема 4. Типи хімічного зв'язку. Природа зв'язку. Структурні та фізичні особливості іонних, ковалентних, металевих та молекулярних кристалів.

Тема 5. Аморфні тіла. Методи отримання та дифракційного дослідження структури. Ближній і дальній порядок. Радіус кореляції. Сплави. Вплив відпалу на руйнування аморфного стану.

Енергетичний спектр кристалів.

Тема 1. Енергетичний стан кристалу з точки зору газу квазічастинок. Приклади квазічастинок: фонони, маґнони, полярони, екситони, плазмони. Теорема Блоха. Густина стану. Статистики Бозе – Ейнштейна та Фермі – Дірака. Взаємодія квазічастинок.

Тема 2. Коливання ґратки – фонони. Коливання одномірного ланцюга. Дисперсійне рівняння. Акустична та оптична гілки коливань. Теплоємність ґратки. Теорії Дюлонґа – Пті, Ейнштейна, Дебая. Фактор Дебая – Валлера у розсіюванні рентгенівського випромінювання. Ангармонізм коливань. Теплове розширення твердих тіл.

Тема 3. Одноелектронні стани у кристалах. Метали та напівпровідники. Хвильова функція електрона у періодичному полі. Одноелектронне наближення: сильний та слабкий зв'язок. Зонна схема та типи твердих тіл. Модель Зоммерфельда: вироджений електронний газ металу. Електронна теплоємність, поверхня Фермі. Електрони провідності та дірки – квазічастинки.

Тема 4. Рух носіїв заряду, спектр та густина стану в постійному і однорідному магнітному полі (класична та квантова теорія). Циклотронна маса. Ефект де Гааза – ван Альфена. Спектр квазідвовимірних електронів у поперечному квантуючому магнітному полі. Рух та енергетичний спектр електронів та дірок в постійному електричному полі. Ефективна маса.

Поверхневі властивості твердих тіл.

Тема 1. Контакт кристал – вакуум. Робота виходу електронів, питома енергія поверхні, коефіцієнт поверхневого натягу. Поверхневі стани. Потенціальний бар'єр. Адсорбція, десорбція.

Тема 2. Метод функціонала густини – сучасний метод опису кристалічної поверхні.

Тема 3. Рівень Фермі у металах, напівпровідниках та його залежність від температури. Вплив анізотропії. Зовнішній фотоэффект. Термо- та автоелектронна емісія.

Електронні кінетичні властивості твердих тіл.

Тема 1. Кінетичне рівняння Больцмана для електронів в твердому тілі. Ліанеризація рівняння Больцмана. Електро- та теплопровідність. Час релаксації. Механізми розповсюдження електронів. Розсіювання на домішках та дефектах. Електрон-фононні зіткнення. Нормальні процеси, процеси перекидання. Магнітоопір і ефект Холла.

Тема 2. Метали із значною довжиною вільного пробігу. Аномальний скін-ефект. Циклотронний резонанс і розмірні ефекти. Проникнення електромагнітного поля в метал.

Тема 3. Напівпровідники. Германій та кремній. Домішкові (донорні та акцепторні) рівні. *p-n*-переходи. Температурні залежності провідності. Статична вольт-амперна характеристика *p-n*-переходу.

Оптичні та магнітні властивості твердих тіл.

Тема 1. Поглинення, відбивання і пропускання світла твердими тілами. Механізм поглинення фотонів. Поглинення вільними носіями. Поглинення ґраткою. Багатофотонні процеси. Комбінаційне розсіювання світла у кристалах. Поглинення зв'язаними носіями. Правила відбору. Міжзонні прямі та непрямі переходи. Внутрішній фотоэффект. Коефіцієнт поглинення та уявна частина діелектричної проникності.

Тема 2. Діамагнетизм вільного електронного газу. Спіновий парамагнетизм. Закон Кюрі. Феромагнетизм. Обмінна взаємодія. Феромагнітні домени. Магнітний гістерезис. Антиферомагнетизм.

Тема 3. Сегнетоелектрики та піроелектрики. Електричний гістерезис.

Термодинаміка та фазові переходи.

Тема 1. Рівновага фаз. Фазові переходи I і II роду. Флуктуації. Тверді розчини та проміжні фази. Рівновага у багатокомпонентних системах та правило фаз. Діаграми рівноваги. Кінетика фазових перетворень. Критичні явища. Флуктуації параметра порядку. Утворення зародків при фазових переходах. Дифузійні та бездифузійні переходи.

Тема 2. Переходи метал – діелектрик у системі електронів. Перехід Андерсона. Границя рухливості в електронному спектрі. Перехід Мотта.

Надпровідність.

Тема 1. Загальні властивості надпровідників I і II роду. Ефект Мейснера. Вихори та вихрові структури. Основи мікроскопічної та термодинамічної теорій. Куперівські пари. Зв'язок з надплинністю. Енергетична щільність та квазічастинки в надпровіднику. Тунельний ефект. Ефект Джозефсона. Високотемпературна надпровідність. Перспективи практичного використання.

Електронні процеси в системах зниженої розмірності.

Тема 1. Гетероструктури і надгратки. Енергетичні діаграми надграток. Енергетичний спектр електронів у надгратках. Властивості електронного газу.

Тема 2. Фундаментальні електронні явища в системах зниженої розмірності: квантове обмеження, балістичний транспорт носіїв заряду, тунелювання, спінові ефекти. Класифікація низькорозмірних структур за критерієм прояву квантового обмеження. Методи моделювання електронних властивостей низькорозмірних структур.

Тема 3. Енергетичний спектр електронів на поверхні твердого тіла. Стани в області просторового заряду. Концентрація носіїв заряду і вигин зон. Захоплення і рекомбінація носіїв заряду за участю поверхневих електронних станів.

Тема 4. Особливості переносу носіїв заряду крізь низькорозмірні структури: балістичний транспорт та інтерференційні ефекти, квантування провідності низькорозмірних провідників. Квантовий ефект Холла (інтегральний і дробовий), одноелектронне і резонансне тунелювання, спин-залежний транспорт носіїв заряду.

X. Наноструктуровані матеріали.

Тема 1. Формування і властивості матеріалів із природним наноструктуруванням. Вуглецевмісні наноструктури – фулерени, вуглецеві нанотрубки, алмазоподібні структури та їх похідні. Нанопорожнисті надпровідники, провідники, напівпровідники і діелектрики.

Тема 2. Молекулярні наноструктури. Органічні молекули. Супермолекули.

біомолекули: нуклеїнові кислоти, білки, ферменти, біомолекулярні комплекси. Міцели і ліпосоми.

Методи одержання наноструктур і наноматеріалів.

Тема 1. Формування плівок нанометрової товщини, гетероструктур і наноструктурованих покриттів. Молекулярно-променева епітаксія. Хімічне осадження з газової фази. Вакуумні, іонні та іонно-плазмові методи осадження. Хімічне та електрохімічне осадження у рідких середовищах.

Тема 2. Формування наноструктур із використанням скануючих зондів. Фізичні основи та особливості використання скануючих тунельних та атомно-силових зондових пристроїв для формування наноструктур. Атомна інженерія. Локальне окислення напівпровідників і металів. Локальне хімічне та електрохімічне осадження матеріалів із газової та рідкої фаз.

Тема 3. Нанолітографія. Літографія з використанням високоенергетичних фотонів, гостросфокусованих пучків електронів та іонів. Зондова нанолітографія. Нанодрук.

Тема 4. Саморегульовані процеси. Атомарне та молекулярне самозбирання. Формування плівок Ленгмюр – Блоджетт. Самоорганізація в об'ємі та на поверхні твердих тіл. Золь-гель технологія.

Експериментальні методи фізики твердого тіла і твердотільних наноструктур.

Тема 1. Рентгенографія: методи дослідження ідеальної та реальної структури. Фазовий аналіз. Визначення типу кристалічної ґратки. Електроннографія.

Тема 2. Дифракційна електронна мікроскопія. Дослідження фононних спектрів. Ефект Мьоссбауера. ЕПР, ЯМР.

Тема 3. Електричні та гальваноманітні вимірювання як методи вивчення електронної структури кристалів та складу домішок у напівпровідниках.

Тема 4. Оптичні методи дослідження; можливості, пов'язані з використанням лазерних джерел світла.

Тема 5. Методи дослідження наноструктур і наноматеріалів: просвічуюча електронна мікроскопія, автоелектронна та автоіонна мікроскопія, зондова мікроскопія, дифракційний аналіз, спектральний аналіз.

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Фізика твердого тіла: підручник [Текст]: в 2 т. / Ю. М. Поплавко. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2017. – Том 1: Структура, квазічастинки, метали, магнетики. – 415 с.
2. Фізика твердого тіла: підручник [Текст]: в 2 т. / Ю. М. Поплавко. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2017. – Том 2: Діелектрики, напівпровідники, фазові переходи. – 379 с.
3. **Пінкевич, І. П.** Теорія твердого тіла [Текст] / І.П. Пінкевич, В.Й. Сугаков. – К.: ВПЦ Київського ун-ту, 2006. – 336 с.
4. **Болеста, І.М.** Фізика твердого тіла [Текст] / І.М. Болеста. – Львів: Видавничий центр ЛНУ ім.І.Франка, 2003. – 480 с.
5. **Бібик, В. В.** Фізика твердого тіла: [Текст] / В. В. Бібик, Т. М. Гричановська, Л. В. Огородорець, Н. І. Шумакова; За заг. ред. проф. Проценка І. Ю. – Суми: Вид-во СумДУ, 2010. – 200 с.
6. **Ashcroft, N.W.** Solid State Physics [Text] / N.W. Ashcroft, N.D. Mermin, D. Wei. – Cengage Learning, 2016 – 1332 p.
7. **Коротун, А. В.** Збірник задач з фізики конденсованого стану [Текст] / А. В. Коротун, І. М. Тітов, Ю. А. Куницький, В. В. Погосов. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2011. – 358 с. – (Збірник задач з фізики конденсованого стану: в 2 т. / А. В. Коротун, І. М. Тітов, Ю. А. Куницький, В. В. Погосов; т. 1).
8. **Коротун, А. В.** Збірник задач з фізики конденсованого стану [Текст] / А. В. Коротун, І. М. Тітов, Ю. А. Куницький, В. В. Погосов. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2011. – 470 с. – (Збірник задач з фізики конденсованого стану: в 2 т. / А. В. Коротун, І. М. Тітов, Ю. А. Куницький, В. В. Погосов; т. 2).
9. **Находкін, М. Г.** Фізичні основи мікро- та наноелектроніки / М. Г. Находкін, Д. І. Шека. – К.: КНУ ім. Т. Г. Шевченка, 2005. – 431 с.
10. **Заячук, Д. М.** Нанотехнології і наноструктури [Текст] / Д. М. Заячук. – Львів: Львівська політехніка, 2009. – 580 с.
11. **Поплавко, Ю. М.** Нанофізика, наноматеріали, наноелектроніка [Текст] / Ю. М. Поплавко, О. В. Борисов, Ю. І. Якименко. – К.: НТУУ „КПІ“, 2012. – 300 с.
12. **Коротун, А. В.** Нарис сучасних напрямків у нанотехнологіях [Текст] / А. В. Коротун, Я. В. Карандась, В. В. Погосов. – Ужгород: ФОП Сабов А.М., 2019. – 392 с.

Затверджено на засіданні фахової атестаційної комісії з проведення вступного іспиту зі спеціальності Е6 Прикладна фізика та наноматеріали, для вступників ОНС доктор філософії «28» березня 2025 р.

Голова комісії



Роман КОРОЛЬКОВ