

**Міністерство освіти і науки України
Чернівецький національний університет
імені Юрія Федьковича**



ЗАТВЕРДЖУЮ

Голова приймальної комісії

Руслан БІЛОСКУРСЬКИЙ

06 2026 р.

**Програма додаткового вступного іспиту
для вступників на освітній рівень**

доктор філософії

спеціальність Е6 Прикладна фізика та наноматеріали

ЗАТВЕРДЖЕНО

**Вченою радою Навчально-наукового
інституту фізико-технічних та
комп'ютерних наук**

Голова Вченої ради



Олег АНГЕЛЬСЬКИЙ

Протокол № 8 від „ 11 ” червня 2026 р.

Чернівці – 2026

ПРОГРАМА
додаткового вступного іспиту до аспірантури
для здобуття наукового ступеня доктора філософії
зі спеціальності *Е6 Прикладна фізика та наноматеріали*

Навчально-науковий інститут фізико-технічних та комп'ютерних наук
Кафедра термоелектрики та медичної фізики

ВСТУП

Предмет і напрямки розвитку сучасної прикладної фізики та наноматеріалів. Роль термоелектрики у розв'язанні центральних задач людства, у тому числі генерації енергії та енергозбереження, медицині тощо. Сучасний стан термоелектрики, її елементна база, практичне використання та перспективи розв'язку проблем науково-технічного процесу.

Метою вступного іспиту є визначення рівня теоретичної та практичної підготовки вступників, визначення відповідності знань, умінь і навичок вимогам навчання в аспірантурі за обраною спеціальністю, їх готовності освоїти вибрану програму підготовки, виявити наукові інтереси і потенційні можливості у сфері науково-дослідної роботи.

1. Прикладна фізика твердих тіл

Кристалічні та аморфні тіла. Трансляційна симетрія. Елементарна комірка. Ґратки Браве. Обернена ґратка. Зони Бріллюена.

Дефекти в кристалах. Крайові та гвинтові дислокації. Типи хімічного зв'язку. Структурні і фізичні особливості іонних, ковалентних, металічних і молекулярних кристалів.

Опис енергетичного стану кристалу за допомогою газу квазічастинок. Приклади квазічастинок. Електрони в металах як квазічастинки. Квазіімпульс. Закон дисперсії. Теорема Блоха. Граничні умови. Густина станів. Статистика газу квазічастинок. Бозони та ферміони. Взаємодія квазічастинок.

Коливання ґратки – фонони. Акустична та оптична вітки коливань. Теплоємність ґратки. Дебаєвська частота. Анггармонізм та теплове розширення.

Електронні стани в кристалах. Одноелектронна модель. Наближення сильного і слабого зв'язку. Зонна модель і типи твердих тіл. Вироджений електронний газ. Електронна теплоємність, поверхня Фермі. Тензор ефективних мас. Електрони і дірки. Циклотронна маса. Положення Фермі-рівня в невинроджених напівпровідниках.

Кінетичне рівняння. Електро- і теплопровідність. Часи релаксації. Механізми розсіювання електронів. Розсіювання на домішках та дефектах. Електрон-фононні зіткнення. Нормальні процеси, процеси перекиду. Магнітоопір та ефект Холла.

Напівпровідники. Електронна структура типових напівпровідників. Германій. Кремній. Вузькозонні напівпровідники. Домішкові рівні. Донори та акцептори. Температурна залежність провідності. p - n переходи. Фотопровідність. Рекомбінація і релаксація нерівноважних носіїв. Гарячі носії. Ефект Ганна.

2. Прикладне матеріалознавство

Дефекти кристалічної будови металів. Основні механічні властивості матеріалів та їх характеристики. Основи теорії сплавів. Основні види діаграм стану двокомпонентних сплавів. Діаграми стану сплавів з утворенням хімічних сполук. Термічна обробка матеріалів, її основні параметри. Класифікація видів термічної обробки.

Механізм та основні закономірності процесу кристалізації. Вирощування кристалічних структур з розплаву. Спрямована кристалізація. Кристалізація з газової фази. Синтез і очистка матеріалів. SPS матеріали та методи їх одержання. Термоелектрична ефективність. Способи підвищення термоелектричної ефективності матеріалів. Низькотемпературні

термоелектричні матеріали. Середньотемпературні термоелектричні матеріали. Високотемпературні термоелектричні матеріали.

3. Вимірювання параметрів функціональних матеріалів

Двохзондовий метод вимірювання електропровідності. Чотирьохзондовий метод вимірювання електропровідності. Метод Ван-дер-Пау. Безелектродні методи вимірювання електропровідності. Вимірювання анізотропії електропровідності.

Стаціонарні методи вимірювання коефіцієнту термо-ЕРС. Нестационарні методи вимірювання коефіцієнту термоЕРС.

Методи вимірювання теплопровідності. Нестационарний метод. Порівняльний метод вимірювання теплопровідності. Абсолютний метод вимірювання теплопровідності. Метод Хармана.

Метод гарячого зонду для вимірювання коефіцієнту термоЕРС. Похибки зондових методів вимірювання електропровідності. Вимірювання анізотропії термоЕРС. Вимірювання анізотропії електропровідності. Обладнання для дослідження розподілів властивостей термоелектричних матеріалів по зразках. Визначення типу провідності напівпровідникових матеріалів. Обладнання для комплексного вимірювання температурних залежностей параметрів термоелектричних матеріалів. Джерела похибок при вимірюванні перепаду температури термопарами. Методи визначення добротності термоелектричних матеріалів. Вимірювання гальвано- та термомагнітних ефектів.

Основні положення інформаційно-енергетичної теорії в застосуванні до термоелектричних вимірювальних приладів і систем. Будову, принцип роботи, основні параметри і характеристики термоелектричних вимірювальних перетворювачів, приймачів інфрачервоного і лазерного випромінювання, тепломірів, мікрокалориметрів та інших приладів. Фізичні моделі та теплові процеси в термоелектричних вимірювальних приладах. Класифікацію термоелектричних вимірювальних приладів. Особливості застосування

термоелектричних вимірювальних приладів та специфіку виконання вимірювань.

4. Комп'ютерне проектування в термоелектриці

Роль чисельних методів і чисельного моделювання в дослідженні властивостей та оптимізації термоелектричних матеріалів. Сучасні інформаційні системи для розв'язку чисельних завдань. Процедурно-орієнтований підхід (ПОП) програмування. Недоліки та переваги. Введення абстрактних типів даних – крок до об'єктивно-орієнтованого підходу (ООП) програмування. Побудова класів для розв'язку задач термоелектрики. Чисельні методи оптимізації в термоелектриці.

Сучасні комп'ютерні методи та засоби (Comsol Multiphysic, Mathcad, Maple, Matlab) моделювання та розрахунку теплових, температурних, електричних й інших полів. Розробка узагальнених комп'ютерних моделей функціональних матеріалів для енергетики, знаходження оптимумів фізичних параметрів матеріалів в широких діапазонах узагальнених координат фізичних, технологічних, економічних та надійностних факторів. Комп'ютерні методи розробки термоелектричних матеріалів з екстремальними значеннями узагальнених критеріїв термоелектричної ефективності. Методи теорії оптимального керування в термоелектриці. Методи проектування функціонально-градієнтних термоелектричних матеріалів. Комп'ютерне проектування термоелектричних охолоджувачів, нагрівачів та генераторів. Комп'ютерні методи оптимізації термоелектричних сенсорів та мікрокалориметрів. Комп'ютерні методи та засоби проектування і оптимізації термоелектричних вимірювальних приладів.

5. Термоелектричні системи охолодження, генерування та заощадження електричної енергії

Основні фізичні явища, що відбуваються у термоелектричних системах охолодження, їх основні характеристики, сфери використання та можливості

вдосконалення. Інші способи охолодження та галузі їх раціонального використання. Класифікація термоелектричних систем охолодження. Властивості термоелектричних матеріалів для систем охолодження. Конструктивні схеми термоелектричних систем охолодження. Основні методи інтенсифікації теплообміну в системах теплообміну для термоелектрики. Комп'ютерні методи та засоби проектування і оптимізації термоелектричних систем охолодження.

Класифікація термоелектричних генераторів. Властивості термоелектричних матеріалів для генераторних модулів. Конструктивні схеми термоелектричних генераторів. Основні типи і параметри джерел тепла для термоелектричних генераторів. Принципи будови фізичних моделей термоелектричних генераторів.

Фізичні процеси, явища, на основі яких створені накопичувачі енергії та розуміння закономірностей їх протікання. Фізичні процеси, що лежать в основі теплових, електрохімічних, індуктивних, ємнісних, механічних та інших накопичувачів енергії. Їх класифікація та типи.

6. Перспективи використання термоелектрики в медицині

Варіанти застосування термоелектрики у медицині з напрямку використання тепла людини як теплової енергії для роботи термоелектричних джерел електрики, якими забезпечується автономна робота різноманітної медичної апаратури. Сучасний стан та перспективи використання термоелектричних сенсорів у якості джерел інформації для діагностичної медичної апаратури та перспективні напрями використання таких сенсорів у майбутніх діагностичних приладах. Сучасний стан у використанні термоелектричного охолодження для використання у кріотерапії та кріохірургії. Існуючі методи та обладнання по використанню термоелектрики для циклічних температурних дій на організм з метою лікування, прилади на їх основі та перспективи створення нової апаратури на цьому принципі.

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Лисенко М.Г. Основи сучасної електроніки. Електронний посібник, НТУУ – КПІ, 2013.
2. Піх С.С., Попель О.М., Ровенчак А.А., Тальянський І.І. Методи математичної фізики. – Львів, ЛНУ імені Івана Франка – 2011.
3. Патентознавство: навчальний посібник / [укл.: Л.Г. Ніколайчук, Л.Б. Демидчук]. - Львів: Видавництво ЛІКА, 2015. - 172 с.
4. Приходько М.А., Герасимов Г.Г. Термодинаміка та теплопередача. Навчальний посібник. – Рівне: НУВГП, 2008. – 250 с.
5. Теплотехніка: підручник для студ. вищих техн. навч. закл. / Б. Х. Драганов [та ін.]; За ред. Б. Х. Драганова. — К. : ІНК ОС, 2005. — 504 с.
6. Афтандіянц Є.Г., Зазимко О.В., Лопатько К.Г. Матеріалознавство: Підручник. К.: Вища освіта. – 2012. – с 548.
7. Соловей О.І., Лега Ю.Г., Розен В.П. Нетрадиційні та поновлювані джерела енергії Навчальний посібник / О. І. Соловей, Ю. Г. Лега, В. П. Розен та інш.; За заг. ред. О. І. Солов'я - Черкаси: ЧДТУ, 2007. - 490 с.
8. Комп'ютерне матеріалознавство. Методичні рекомендації до лабораторних робіт / Укл.: Черкез Р.Г. – Чернівці : Чернівецький національний університет, 2022. – 120 с.
9. Комп'ютерне проектування термоелектричних перетворювачів енергії. Методичні рекомендації до лабораторних робіт / Укл.: Черкез Р.Г., Дудаль В.О. – Чернівці : Чернівецький національний університет, 2019. – 56 с.
10. Прикладна електрофізика: методичні рекомендації до лабораторних робіт / укл. : Л. І. Анатичук, А. В. Білий, І. А. Константинович, Р. Г. Черкез – Чернівці: Чернівецький нац. ун-т, 2013. – 65 с.
11. Перетворення енергії. Двигуни внутрішнього згоряння.: метод. реком. до спецкурсу – У 2ч. – Ч.1. / укл.: Л. І. Анатичук, І. А. Константинович, Р. Г. Черкез – Чернівці: Чернівецький нац. ун-т, 2013. – 56 с.
12. Анатичук Л.І., Вихор Л.М., Черкез Р.Г. Узагальнена теорія термоелектричного перетворення енергії у застосуванні до проникних термоелементів – Чернівці: Чернівецький нац. ун-т, 2025. – 186 с.
<https://drive.google.com/file/d/1mn6qUbAepqM4me1LYLbTAqvLvtJMySDv/view?usp=sharing>
13. Анатичук Л.І., Лисько В.В., Гаврилюк М.В. Методи та обладнання для вимірювання параметрів термоелектричних матеріалів. – Чернівці: МПП «Букрек», 2024. – 192 с. http://ite.ite.cv.ua/?page_id=905
14. Прикладне матеріалознавство. Частина 1: методичні рекомендації до лабораторних робіт / укл. **О.С. Кшевецький**. - Чернівці: Чернівец. нац. ун-т ім. Ю. Федьковича, 2025. – 57 с.
<https://archer.chnu.edu.ua/xmlui/handle/123456789/14029>

СТРУКТУРА ОЦІНКИ ТА КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ

Вступне випробування відбувається у вигляді екзамену, на якому кожен з вступників письмово викладає відповідь на два питання білету з різних розділів Програми. На підготовку відводиться 90 хв. часу. Крім цього, після відповіді на питання білету вступник відповідає на усне запитання, задане комісією, яке заноситься в протокол вступного іспиту.

Критерії оцінювання відповіді на ПЕРШЕ та ДРУГЕ ПИТАННЯ

38–45 балів – здобувач ґрунтовно висвітлює питання з білету, виявляє поглиблене розуміння фізичних законів та фізичного змісту величин, що входять у ці закони, вільно послуговується науковою термінологією, ґрунтовно відповідає на уточнюючі запитання.

30–37 бали – здобувач у більшій мірі висвітлює питання з білету, розуміє суть фізичних законів та фізичних величин, що в них входять, допускає окремі неістотні неточності та незначні помилки.

18–29 балів – здобувач не повністю розкрив зміст питань з білету, виявляє поверхневе розуміння фізичної суті законів та фізичних величин; при висвітленні питань з білету не вистачає достатньої глибини та аргументації, допускаються при цьому окремі неточності та незначні помилки.

0–17 балів – здобувач не відповідав на питання з білету, але відповідає на уточнюючі запитання. Поверхнево розуміє суть фізичних законів та фізичних величин. У відповіді допускає суттєві помилки.

Критерії оцінювання відповіді на усне ДОДАТКОВЕ ЗАПИТАННЯ

8–10 балів – здобувач ґрунтовно відповідає на усне запитання. При цьому виявляє поглиблене розуміння фізичних законів та фізичного змісту величин, що входять у ці закони, вільно послуговується науковою термінологією, ґрунтовно відповідає на уточнюючі запитання.

6–7 бали – здобувач у більшій мірі висвітлює питання з білету, розуміє суть фізичних законів та фізичних величин, що в них входять, допускає окремі неістотні неточності та незначні помилки.

4–5 балів – здобувач не повністю розкрив зміст питань з білету, виявляє поверхневе розуміння фізичної суті законів та фізичних величин; при висвітленні питань з білету не вистачає достатньої глибини та аргументації, допускаються при цьому окремі неточності та незначні помилки.

0–3 балів– здобувач не відповів на усне запитання, але відповідає на уточнюючі запитання. Поверхнево розуміє суть фізичних законів та фізичних величин. У відповіді допускає суттєві помилки.

Критерії оцінювання при виставленні оцінки за іспит

При виставленні оцінки за іспит береться сума балів за кожне з питань білету та усне запитання.

Для оцінки **ЗАРАХОВАНО** вступник має набрати мінімум **40** балів.

При сумі балів менше **40** вступник отримує оцінку **НЕ ЗАРАХОВАНО**.