

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



ЗАТВЕРДЖУЮ

Голова приймальної комісії

Руслан БІЛОСКУРСЬКИЙ

06 2026 р.

**Програма 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
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 невироджених 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.

7. Узагальнена теорія термоелектричного перетворення енергії.

Елементна база термоелектрики

Проблеми розвитку термоелектрики. Перший та другий етапи розвитку термоелектрики. Основні механізми покращення добротності матеріалів та їх реалізація. Термоелектричні матеріали. Практичне застосування термоелектрики.

Узагальнена модель термоелектричного перетворення енергії. Узагальнення закону Фарадея. Закон термоелектричної індукції. Кореляція термоелектрики та електротехніки. Таблиця термоелектричних перетворень. Стан та перспективи потенційних можливостей термоелектричного перетворення енергії. Обернені задачі термоелектрики. Методика винайдення нових типів термоелементів. Модель узагальненого термоелектричного перетворювача енергії. Вихрові струми та методи їх керування. Друге винайдення термопар.

Термопари. Основні співвідношення. Термопари з активними вітками. Термопари з пасивною віткою. Складова термопари. Функціонально-градієнтні термопари. Термопари з боковим теплообміном. Проникні термопари. Анізотропні термоелементи. Основні співвідношення. Анізотропний термоелемент поздовжнього типу. Анізотропний термоелемент поперечного типу. Штучно-анізотропні термоелементи. Косошаруватий термоелемент. Евтектичні термоелементи.

Короткозамкнені термоелементи. Основні співвідношення. Короткозамкнений анізотропний термоелемент. Термоелемент з косим замиканням. Подвійний анізотропний короткозамкнений термоелемент. Двошаровий анізотропний короткозамкнений термоелемент.

Термоелементи в магнітному полі. Основні співвідношення. Прямокутний термоелемент Нернста-Еттінсгаузена. Прямокутний термоелемент Еттінсгаузена. Спиральний термоелемент Нернста-Еттінсгаузена з радіальними тепловим потоком. Термоелемент Еттінсгаузена оптимальної форми. Спиральний гальваномагнітний охолоджуючий

термоелемент з радіальним тепловим потоком. Спіральний гальваномагнітний охолоджуючий термоелемент з радіальним магнітним потоком. Рулонний охолоджуючий гальваномагнітний термоелемент з радіальним магнітним потоком. Спіральні гальваномагнітні охолоджуючі термоелементи з живленням змінним струмом. Короткозамкнені термоелементи в магнітному полі. Евтектичні термоелементи в магнітному полі. Магнітотермоелектричні термоелементи. Термопарні термоелементи в магнітному полі.

Термоелементи з великим градієнтом температури. Основні співвідношення. Термоелемент з великим градієнтом температури в прямокутній пластині. Термоелемент з пластини із вістрям. Лінійний термоелемент. Спіральний термоелемент з великим градієнтом температури.

П'єзотермоелементи. Основні співвідношення. Термопарний п'єзотермоелемент. Анізотропний п'єзотермоелемент. Спіральний анізотропний п'єзотермоелемент.

Функціонально-градієнтні матеріали – як третій етап розвитку термоелектрики. Функціонально-градієнтні матеріали. Генератори та холодильники на основі функціонально-градієнтних матеріалів. Функціонально-градієнтні матеріали у магнітному полі. Основні закономірності та величини зростання ефективності. Технологічні проблеми та їх розв'язок.

Наноструктури у термоелектриці. Моделі, фізичні ефекти, методи досягнення екстремальної добротності. Матеріали з квантовими ямами. Ниткові матеріали. Багатошарові плівки. Бар'єрні ефекти. Ефекти вакуумної емісії.

Перспективи практичних застосувань термоелектрики. Комбіновані теплові машини з низькотемпературним термоелектричним каскадом. Використання низькопотенційного тепла. Відновлювальна енергетика майбутнього. Комбінована термо- та оптоелектроніка. Комбінована термо- та мікроелектроніка. Інформаційна термоелектрика.

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

Основна

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. : ІНКООС, 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/1mn6qUbAepqM4me1LYLbTAqgLvtJMySDv/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>

Додаткова

1. Черкез Р.Г., Семешкін В.С. Співвідношення нерівноважної термодинаміки у неоднорідних проникних термоелементах. Science, technology and innovation in the modern world. (<https://doi.org/10.30525/978-9934-26-364-4-1>).
2. Анатичук Л.І., Кобилянський Р.Р., Константинович І.А., Кузь Р.В., Маник О.М., Ніщович О.В., Черкез Р.Г. Технологія виготовлення термоелектричних мікробатарей // Термоелектрика. – № 6. – 2016. – С. 66-71.
3. Cherkez R.G. Energy Characteristics of Permeable Thermoelements // Journal of Electronic Materials, Volume 42, Number 7, 2013, Pages 1558-1563.
4. Anatychuk L.I., Kobylanskyi R.R., Cherkez R.G., Konstantynovych I.A., Hoshovskyi V.I., Tiumentsev V.A. Thermoelectric device with electronic control unit for diagnostics of inflammatory processes in the human organism // Tekhnologiya i konstruirovanie v elektronnoi apparature, 2017, № 6, pp. 44-48.
5. Gorskyi P. V. Chapter 3. Some Thermoelectric Capabilities of Superlattices and Nanopowders // Nanoobjects & Nanostructuring. Volume I. / Edited by Lidiya M.Boichyshyn and Oleksandr V. Reshetnyak. – Mississauga, Ontario, Canada: Nova Printing Inc., 2022. P. 45-56.
6. Yuryk O., Anatychuk L., Kobylanskyi R., Yuryk N. Chapter 2. Measurement of heat flux density as a new method of diagnosing neurological // Modern methods of diagnosing disaeses. Kharkiv: PC Technology Center. 2023. P. 31–68.
7. Чисельні методи у прикладній фізиці: Збірник задач. Видання II (доповнене) / укл. Маник О.М.– Чернівці: Чернівец. нац. ун-т ім. Ю. Федьковича, 2023. – 112 с.
8. Мікроскопічна теорія явищ перетворення енергії: лабораторний практикум / укл. Маник О.М.– Чернівці: Чернівец. нац. ун-т ім. Ю. Федьковича, 2023. – 95 с.
9. Математичні моделі у прикладній фізиці: лабораторний практикум / укл. Маник О.М.– Чернівці: Чернівец. нац. ун-т ім. Ю. Федьковича, 2023. – 136 с.
10. Патент України на корисну модель № 160557. МПК F24C7/00, F24C7/10. Універсальний термоелектричний генератор / **Гаврилюк М.В., Лисько В.В., Бабіч А.О.,** Розвер Ю.Ю., **Константинович І.А.** Опубліковано 17.09.2025 р., бюл. № 38/2025. <https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/1876368/>
11. Патент України на корисну модель № 161025. МПК: G01R27/00. Процес визначення параметрів термоелектричного модуля охолодження / Анатичук Л.І., **Лисько В.В.;** Інститут термоелектрики НАН України та МОН України. Опубліковано 05.11.2025, бюл. № 45/2025. <https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/1884438/>

Інформаційні ресурси

1. <https://uk.wikipedia.org/wiki/>
2. https://stud.com.ua/166288/tehnika/elektronika_chastina_1_vakuumna_ta_plazmova_elektronika
3. <https://ela.kpi.ua/items/cd507203-c6ff-4168-bbdc-ee79c1f9e89e>
4. <https://web.kpi.kharkov.ua/pgs/wp-content/uploads/sites/83/2019/02/2018-DOVIDNIK-z-patentoznavstva.pdf>
5. <https://web.posibnyky.vntu.edu.ua/>
6. <https://www.comsol.com/>
7. Сайти журналів «Термоелектрика», Journal of Electronic Materials, Materials today, Materials today: Proceedings, Journal of Applied Physics, Energy Conversion and Management, Journal of Thermophysics та ін.

КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ

Вступний іспит проводиться в тестовій формі відповідно до затвердженого розкладу за наступним порядком: до кожного завдання пропонується 4 варіанти відповідей, з яких лише один правильний. Завдання вважається виконаним неправильно, якщо: а) позначено неправильну відповідь (дистрактор); б) позначено два або більше варіантів відповіді (дистрактори), навіть якщо серед них є правильна відповідь; в) відповідь не позначено взагалі.

Вступне фахове випробування передбачає виконання **40** тестових завдань трьох рівнів складності.

Оцінювання відповіді вступника на кожне з тестових завдань здійснюється з урахуванням таких норм та критеріїв:

І-й рівень складності **25** питань по **2** бали

ІІ-й рівень складності **10** питань по **4** бали

ІІІ-й рівень складності **5** питань по **6** балів

Час тестування 60 хв

Розрахунок підсумкової кількості балів за іспит в 200 бальній шкалі

Загальна оцінка вступного фахового випробування в тестовій формі розраховується як сума балів, набраних абітурієнтом за трьома рівнями за шкалою оцінювання 80–200 балів.

Максимальна кількість балів на вступному фаховому випробуванні в тестовій формі становить 200 балів. Обрахування здійснюється системою автоматично.

Вступне фахове випробування вважається складеним за умови отримання абітурієнтом не менше 100 балів, що відповідає нижній межі оцінки задовільного рівня.

Рішення про зарахування вступника на навчання приймається Приймальною комісією Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича відповідно до встановленої університету ліцензії за набраним конкурсним балом згідно з Правилами прийому до аспірантури Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича на здобуття вищої освіти ступеня доктора філософії в 2026 році, затвердженого Вченою радою Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича 27 квітня 2026 року, протокол № 5.