

Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича
Навчально-науковий інститут фізико - технічних та комп'ютерних наук
Кафедра термоелектрики та медичної фізики

“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Директор навчально-наукового інституту
фізико-технічних та комп'ютерних наук



Петро ШПАТАР

“ 27 ” серпня 2025 року

РОБОЧА ПРОГРАМА
навчальної дисципліни
КОМП'ЮТЕРНЕ МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО В ТЕРМОЕЛЕКТРИЦІ
(вибіркова)

Освітньо-наукова програма Прикладна фізика та наноматеріали

Спеціальність Е6 Прикладна фізика та наноматеріали

Галузь знань Е Природничі науки, математика та статистика

Рівень вищої освіти третій (освітньо-науковий)

Навчально-науковий інститут фізико-технічних та комп'ютерних наук

Мова навчання Українська

Чернівці 2025 рік

Робоча програма навчальної дисципліни «Комп'ютерне матеріалознавство в термоелектриці» складена відповідно до освітньо-наукової програми «Прикладна фізика та наноматеріали».

Розробник: проф. каф. термоелектрики та медичної фізики,
доктор ф.-м. н., професор **Радіон ЧЕРКЕЗ**

Викладач: проф. каф. термоелектрики та медичної фізики,
доктор ф.-м. н., професор **Радіон ЧЕРКЕЗ**

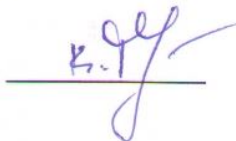
Погоджено з гарантом ОП



Радіон ЧЕРКЕЗ

Затверджено на засіданні кафедри термоелектрики та медичної фізики
ННІФТКН ЧНУ імені Юрія Федьковича
Протокол № 2 від 26.08.2025 року

Завідувач кафедри



Роман КОБИЛЯНСЬКИЙ

Схвалено методичною радою ННІФТКН

Протокол № 1 від 27.08.2025 року

Голова методичної ради

навчально-наукового інституту

фізико-технічних та комп'ютерних наук



Іван КОЗЯРСЬКИЙ

МЕТА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Формування у здобувачів знань і умінь для ефективної роботи з основними комп'ютерними засобами, що використовуються при проектуванні термоелектричних матеріалів та термоелементів на їх основі з екстремальними значеннями термоелектричної ефективності.

ПРЕРЕКВІЗИТИ

Пререквізитами до курсу «Комп'ютерне матеріалознавство в термоелектриці» є обов'язкові курси, що вивчаються здобувачами на другому (магістерському) рівні вищої освіти, такі як «Комплексне комп'ютерне проектування у термоелектриці», «Термоелектричні вимірювальні прилади».

Завдання дисципліни: формування у студентів теоретичних знань та практичних навичок з питань комп'ютерного матеріалознавства; розкрити фізичну суть явищ, які відбуваються у матеріалах під впливом на них різних факторів комп'ютерними засобами.

РЕЗУЛЬТАТИ НАВЧАННЯ

Відповідно до освітньо-наукової програми, вивчення дисципліни «Комп'ютерне матеріалознавство в термоелектриці» сприяє формуванню у здобувачів третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти таких *компетентностей*:

Загальні компетентності (ЗК)

ЗК1. Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу.

ЗК6. Здатність використання новітніх інформаційних і комунікаційних технологій, спеціалізованого програмного забезпечення у науковій та навчальній діяльності.

ЗК8. Здатність працювати автономно, ініціювати, організовувати та проводити комплексні теоретичні та експериментальні дослідження.

ЗК9. Здатність до усної і письмової презентації та обговорення результатів наукових досліджень та/або інноваційних розробок українською та англійською мовами, в тому числі з експертами інших галузей.

ЗК10. Здатність виявляти, ставити й вирішувати проблеми та проводити дослідження на відповідному рівні, планувати й прогнозувати результати.

Фахові компетентності (ФК)

ФК1. Дослідницькі здатності та компетентність виконувати оригінальні дослідження у вибраній області прикладної фізики та досягати наукових результатів, які створюють нові знання, із звертанням особливої уваги до актуальних задач та використанням новітніх наукових методів.

ФК4. Технологічні здатності. Компетентність у використанні наукового обладнання та технологій, методів обчислень, що відносяться до вибраної області дослідження.

ФК6. Компетентність створення та налаштування комп'ютерних програм за власноруч розробленими алгоритмами.

ФК8. Здатності аналізу даних. Компетентність аналізувати дані проведених досліджень, які можуть бути значного обсягу та вимагати застосування потужних обчислювальних ресурсів.

В результаті вивчення навчальної дисципліни аспіранти повинні:

Знати та розуміти: базу знань у комп'ютерному матеріалознавстві для розробки комп'ютерних моделей термоелементів з однорідних та неоднорідних матеріалів для термоелектричних генераторів та охолоджувачів.

вміти: застосовувати методи комп'ютерного матеріалознавства у створенні матеріалів для конкретних прикладних проблем енергетики, зокрема термоелектричного охолодження та генерації електричної енергії.

володіти: навичками ефективної роботи з основними комп'ютерними засобами (Mathcad, Comsol Multiphysics), що використовуються при проектуванні термоелектричних матеріалів з екстремальними значеннями ефективності.

Вивчення даної навчальної дисципліни забезпечує досягнення здобувачем наступних **програмних результатів навчання за спеціальністю (ПРН):**

ПРН1. Здатність аналізувати та обговорювати наукові публікації в межах власної дослідницької проблематики та поза нею.

ПРН2. Здатність здійснити завершене оригінальне дослідження, що ґрунтується на використанні сучасних методів науки.

ПРН5. Здатність готувати результати власного наукового дослідження для опублікування наукових статей, монографій, навчальної літератури.

ПРН6. Здатність керувати спеціалізованими науковими семінарами та вести наукову дискусію з дотриманням професійної етики з фахівцями і нефахівцями щодо результатів досліджень, фундаментальних та прикладних проблем фізики українською та іноземною мовами, кваліфіковано відображати результати досліджень у наукових публікаціях у провідних міжнародних наукових виданнях.

ПРН8. Уміти розробляти та досліджувати фізичні, математичні і комп'ютерні моделі процесів і систем, ефективно використовувати їх для отримання нових знань та/або створення інноваційних продуктів у прикладній фізиці та дотичних міждисциплінарних напрямках.

ПРН9. Планувати і виконувати експериментальні та/або теоретичні дослідження з прикладної фізики та дотичних міждисциплінарних напрямів з використанням сучасних наукових методів, критично аналізувати результати власних досліджень і результати інших дослідників у контексті усього комплексу сучасних знань щодо досліджуваної проблеми.

ПРН13. Знати методи та засоби проектування оптимальних властивостей термоелектричних матеріалів та пристроїв на їх основі.

ОПИС НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ ЗАГАЛЬНА ІНФОРМАЦІЯ

Назва навчальної дисципліни <u>Комп'ютерне матеріалознавство в термоелектриці</u>												
Форма навчання	Рік підготовки	Семестр	Кількість			Кількість годин						Вид підсумкового контролю
			кредитів	годин	Змістових модулів	лекції	практичні	семінарські	лабораторні	самостійна робота	індивідуальні завдання	
Денна	1	2	4	120	2	20	-	-	20	80	-	Залік

СТРУКТУРА ЗМІСТУ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Назви змістових модулів і тем навчальних занять	Кількість годин					
	денна форма					
	Усього	у тому числі				
		л	п	лаб	інд	с.р.
1	2	3	4	5	6	7
Змістовий модуль 1. Основи проектування термоелектричного матеріалу та для віток термоелементів.						
Тема 1. Основи роботи з комп'ютерною програмою MathCAD	8	-	-	-	-	8

Тема 2. Проектування термоелектричного матеріалу для віток термоелемента з використанням пакета прикладної комп'ютерної програми MathCAD	12	2	-	2	-	8
Тема 3. Комп'ютерний вибір оптимальних однорідних термоелектричних матеріалів для термоелементів.	8	2	-	2	-	4
Разом за ЗМ1	28	4	-	4	-	20
Змістовий модуль 2. Моделювання термоелектричного матеріалу на основі мікроскопічної теорії термоелектричного матеріалу.						
Тема 4. Проектування термоелектричного матеріалу для віток термоелемента на основі мікроскопічної теорії явищ перенесення	10	2	-	2	-	6
Тема 5. Оптимізація однорідних термоелектричних матеріалів на основі мікроскопічної теорії явищ перенесення	12	4	-	2	-	6
Тема 6. Теоретичне дослідження параметрів термоелектричних речовин при наявності виродження електронного газу.	10	-	-	2	-	8
Разом за ЗМ 2	32	6	-	6	-	20
Змістовий модуль 3. Моделювання неоднорідних та анізотропних термоелементів.						
Тема 7. Комп'ютерне моделювання дискретнонеоднорідного термоелектричного матеріалу для секційних термоелементів.	12	2	-	2	-	8
Тема 8. Проектування функціональноградієнтних матеріалів (ФГМ) для термопарних генераторних елементів.	12	2	-	2	-	8
Тема 9. Моделювання анізотропного термоелемента.	4	-	-	-	-	4
Разом за ЗМ 3	28	4	-	4	-	20
Змістовий модуль 4. Використання ComsolMultiphysics для 3-D моделювання термоелементів .						
Тема 10. Основи роботи в пакеті прикладних комп'ютерних програм ComsolMultiphysics (модуль heat transfer)	8	2	-	2	-	4
Тема 11. Моделювання повітряного радіатора в ComsolMultiphysics.	10	2	-	2	-	6
Тема 12. Моделювання генераторного термоелемента в пакеті прикладних комп'ютерних програм Comsol Multiphysics	14	2	-	2	-	10
Разом за ЗМ 4	32	6	-	6	-	20
Усього годин	120	20	-	20	-	80

Контроль виконання завдань, винесених на підготовку та виконання лабораторних занять, виконання необхідних розрахунків проводиться в рамках модульного контролю, переглядом звітів з виконання лабораторних робіт та самим захистом аспірантами лабораторних робіт. Бали за цю роботу входять у загальну кількість балів за діяльність – захист лабораторних робіт. Цикл лабораторних робіт складається з 10 повноцінних лабораторних робіт, аспірант може вибрати на початку семестру 5 з цих робіт за бажанням. Кожна лаб. робота оцінюється в 4 бали: 2 бали за виконання роботи і 2 бали за захист.

Тематика лекційних занять з переліком питань

№	Назва теми
1	<p>Проектування термоелектричного матеріалу для віток термоелемента з використанням пакета прикладної комп'ютерної програми MathCAD Апроксимація даних про температурні та концентраційні залежності параметрів термоелектричного матеріалу. Реалізація методів апроксимації та інтерполяції в пакеті прикладних комп'ютерних програм MathCAD.</p>
2	<p>Комп'ютерний вибір оптимальних однорідних термоелектричних матеріалів для термоелементів. Особливості вибору матеріалів для віток термоелемента. Метод середньо інтегральних значень добротності. Метод теорії оптимального керування.</p>
3	<p>Проектування термоелектричного матеріалу для віток термоелемента на основі мікроскопічної теорії явищ перенесення. Мікроскопічні моделі термоелектричного матеріалу. Визначення кінетичних коефіцієнтів.</p>
4	<p>Оптимізація однорідних термоелектричних матеріалів на основі мікроскопічної теорії явищ перенесення. Модель домішкового напівпровідника при довільному виродженні. Співвідношення для визначення для коефіцієнтів термоерс, електро- та теплопровідності.</p>
5	<p>Основи роботи в пакеті прикладних комп'ютерних програм ComsolMultiphysics (модуль heat transfer). Основи роботи в COMSOL Multiphysics. Особливості модуля Heat transfer. Розв'язування задач теплопровідності циліндра.</p>
7	<p>Моделювання повітряного радіатора в ComsolMultiphysics. Повітряний радіатор та його параметри. Тепловий опір радіатора. Моделювання повітряного радіатора в програмі ComsolMultiphysics.</p>
8	<p>Моделювання генераторного термоелемента в пакеті прикладних комп'ютерних програм Comsol Multiphysics. Фізична модель генераторного термоелемента та її математичний опис. Визначення ККД та потужності. Моделювання генераторного термоелемента в програмі Comsol Multiphysics.</p>

Тематика лабораторних занять з переліком питань

№	Назва теми
1	<p>Проектування термоелектричного матеріалу для віток термоелемента з використанням пакета прикладної комп'ютерної програми MathCAD.</p> <p>1. Завдання:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Створити MathCAD-модель розрахунку параметрів термоелектричного матеріалу. • Підібрати матеріали для віток р- та n-типу термоелемента. • Побудувати температурні залежності коефіцієнта добротності.
2	<p>Комп'ютерний вибір оптимальних однорідних термоелектричних матеріалів для термоелементів.</p> <p>Завдання:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Використати MathCAD для аналізу кількох кандидатів на роль матеріалів віток. • Визначити температурний інтервал максимальної ефективності. • Побудувати узагальнену таблицю матеріалів із параметрами α, σ, κ, ZT.
3	<p>Проектування термоелектричного матеріалу для віток термоелемента на основі мікроскопічної теорії явищ перенесення.</p> <p>Завдання:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Побудувати розрахункову модель для термоелектричного коефіцієнта на основі енергетичного розподілу носіїв. • Проаналізувати вплив концентрації домішок на добротність матеріалу. • Порівняти результати моделі з експериментальними даними.

4	<p>Оптимізація однорідних термоелектричних матеріалів на основі мікроскопічної теорії явищ перенесення.</p> <p>Завдання:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Реалізувати розрахунок $ZT(T, n)$ у середовищі MathCAD. • Знайти оптимальну концентрацію носіїв для максимізації ефективності. • Побудувати 3D-графік залежності ZT від n і T.
5	<p>Основи роботи в пакеті прикладних комп'ютерних програм Comsol Multiphysics (модуль heat transfer).</p> <p>Завдання:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Створити 3D-модель теплопровідного зразка. • Задати граничні умови для постійного для стаціонарного випадку. • Провести моделювання теплопередачі та побудувати розподіл температури.
7	<p>Моделювання повітряного радіатора в COMSOL Multiphysics.</p> <p>Завдання:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Створити модель ребристого радіатора у COMSOL Multiphysics. • Задати параметри потоку повітря. • Провести аналіз температурного поля, визначити тепловий опір радіатора.
8	<p>Моделювання генераторного термоелемента в пакеті прикладних комп'ютерних програм Comsol Multiphysics.</p> <p>Завдання:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Створити модель термоелектричного модуля з двома типами матеріалів. • Провести розрахунок розподілу температури та електричного потенціалу. • Визначити напругу, струм і електричну потужність генераторного термоелемента. • Провести параметричну оптимізацію термоелемента для підвищення його ефективності.

Завдання для самостійної роботи студентів

№	Назва теми
1	Основи роботи в пакетах прикладних комп'ютерних програм Mathcad. Побудова графіків функцій. Методи інтегрування та диференціювання.
2	Методи апроксимації, інтерполяції та побудови графічних залежностей в пакеті прикладних комп'ютерних програм Mathcad.
3	Методи розв'язку систем диференціальних рівнянь в пакеті прикладних комп'ютерних програм Mathcad. Метод Рунге-Кутта та Ейлера.
4	Підготувати реферат або презентацію на одну з тем: "Методи скінченних елементів", "Метод Рунге -Кутта", "Метод скінченних різниць". Включити приклади задач і сфер застосування.
5	Сегментні термоелементи для генераторів. Метод розрахунку та проектування.
6	Чисельні методи розрахунку функціонально-градієнтних матеріалів та термоелементів на їх основі. Описати особливості реалізації даного методу в комп'ютерних програмах.
7	Особливості роботи в пакеті прикладних комп'ютерних програм Comsol Multiphysics. Розкрити реалізацію модулю Laminar Flow (Ламінарний потік).
8	Модуль Heat Transfer in Fluids (Теплопередача в потоках) прикладної комп'ютерної програми Comsol Multiphysics. Особливості його реалізації.
9	Підготувати коротку доповідь (7–10 хв) про застосування комп'ютерних методів у власному науковому дослідженні.

Самостійна робота аспірантів передбачає: конспектування матеріалу; пошук літературних джерел для підготовки до лабораторних занять.

Контроль виконання завдань, винесених на самостійне опрацювання проводиться в рамках модульного контролю. Бали за цю роботу входять у загальну кількість балів за

конкретний модуль.

МЕТОДИ НАВЧАННЯ

Методи навчання:

лекції: проблемний виклад, частково-пошукові та дослідницькі методи, презентації, бесіди і дискусії;

лабораторні заняття: метод проблемного підходу, дослідницький метод.

Самостійна робота аспірантів передбачає: конспектування лекційного матеріалу; вивчення теоретичного матеріалу лекційних занять та опрацювання літературних джерел, рекомендованих цією програмою; проведення розрахунків та підготовку звітів з практичних та лабораторних робіт.

Інтерактивні методи навчання: застосуванням електронних мультимедійних комплексів навчальних дисциплін та ресурсів, а також платформи для дистанційного навчання Moodle (<https://moodle.chnu.edu.ua>).

Форми навчальних занять: лекції, лабораторні заняття, практичні заняття, консультації.

Система контролю та оцінювання

Методи контролю

У процесі оцінювання навчальних досягнень застосовуємо методи усного і письмового контролю, зокрема такі **засоби оцінювання** та демонстрування результатів навчання:

- *засоби усного контролю:* індивідуальне опитування, фронтальне опитування, презентації результатів виконаних завдань;
- *засоби письмового контролю:* контрольні роботи, тестування, самостійні роботи, виконання та захист лабораторних;
- *засоби самоконтролю:* уміння самостійно оцінювати свої знання, самоаналіз.

У разі проведення навчального процесу та оцінювання у дистанційній формі використовуються засоби Moodle (у тому числі тестування; <https://moodle.chnu.edu.ua>).

Система оцінювання знань є накопичувальною (складається із суми балів за різними видами здійсненого контролю).

Форми контролю

Основними формами поточного контролю є:

- усні відповіді аспірантів;
- виконання тестових завдань з метою перевірки рівня засвоєння теоретичного матеріалу за навчальними темами;
- усна відповідь студента при здачі лабораторної роботи;
- виконання модульної контрольної роботи (тестування та розв'язання навчально-професійних задач).

Зазначені форми контролю на лекційних, практичних та лабораторних заняттях є обов'язковими для всіх аспірантів.

Форма підсумкового контролю – залік.

КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ

поточного та підсумкового контролю навчальних досягнень аспірантів

Критерії оцінювання навчальних досягнень аспірантів за результатами поточного контролю

Критеріями оцінювання навчальних досягнень студентів за результатами поточного контролю є:

- Знання теоретичного матеріалу
- Практичні навички
- Самостійність і критичне мислення

- Якість виконання завдань
- Активність на заняттях
- Дотримання термінів виконання завдань
- Академічна добросесність

Розподіл балів, які отримують аспіранти за модулі

Поточне оцінювання (аудиторна та самостійна робота)				Кількість балів (залік)	Сумарна к-ть балів
Змістовий модуль №1	Змістовий модуль №2	Змістовий модуль №3	Змістовий модуль №2		
T1,T2, T3	T4,T5,T6	T7,T8, T9	T10,T11,T12		
10	10	20	20	40	100

T1,T2, T3,T4,T5,T6,T7,T8,T9,T10,T11,T12 – теми змістових модулів.

Максимум балів, які здобувач освіти може отримати за окремий вид роботи, зокрема тієї, що винесена на самостійне опрацювання – 12 балів, сума яких (за коефіцієнтом) переводиться у відповідний бал кожної теми, що в загалом у ході поточного контролю складе 60 балів.

К-сть балів	Критерії оцінювання навчальних досягнень здобувачів освіти
11-12 балів	Завдання виконано вчасно, його зміст у повному обсязі розкриває тему дослідження, оформлення відповідає всім вимогам до даного виду роботи. Здобувач системно володіє матеріалом і може презентувати його перед аудиторією, у тому числі і за допомогою ІКТ, має власну думку щодо викладеного матеріалу, здатен її аргументувати, робить висновки до виконання завдання підходить творчо.
9-10 балів	Завдання виконано вчасно, його зміст у повному обсязі розкриває тему дослідження, оформлення відповідає всім вимогам до даного виду роботи. Здобувач володіє матеріалом і може презентувати його перед аудиторією.
7-8 балів	Завдання виконано вчасно, його зміст у повному обсязі розкриває тему дослідження, оформлення відповідає всім вимогам до даного виду роботи. Здобувач може доповісти основні положення проведеної роботи без глибинного аналізу, узагальнення матеріалу та підведення підсумків.
5-6 балів	Завдання виконано вчасно, його зміст поверхнево або фрагментарно розкриває тему дослідження, оформлення відповідає всім вимогам до даного виду роботи. Здобувач не проводить аналізу джерел, з яких було отримано інформацію, не здатен узагальнити та систематизувати матеріал, зазнає труднощів під час презентації проведеного дослідження перед аудиторією.
3-4 бали	Завдання виконано вчасно, його зміст є дублюванням відомих джерел інформації. Відсутня будь-яка аналітична обробка представленої інформації. Здобувач на репродуктивному рівні з помилками відтворює матеріал, не може презентувати його перед аудиторією.
1-2 бали	Завдання відзначається фрагментарністю виконання під керівництвом викладача. Необхідні практичні уміння роботи майже не сформовані, більшість передбачених навчальною програмою завдань не виконано.

Критерії підсумкового оцінювання результатів навчання аспірантів з навчальної дисципліни

Критерієм підсумкового оцінювання є досягнення аспірантом певних знань передбаченим результатом навчання, коли студент опанував теоретичними та практичними знаннями навчальної дисципліни.

Згідно шкали ЄКТС загальна кількість балів, яку студент може отримати у процесі

вивчення дисципліни, становить 100 балів, з яких 60 балів студент набирає при поточних видах контролю і 40 балів – у процесі підсумкового контролю (залік).

Таким чином знання аспірантів оцінюється як з теоретичної, так і з практичної підготовки за такими критеріями:

<p>«А»</p> <p>90-100 балів</p> <p>ставиться у разі, якщо студент:</p>	<ul style="list-style-type: none"> – постійно готувався до занять та згідно з програмою дисципліни; – глибоко та всебічно розкривав зміст питань; – показав уміння формулювати висновки, узагальнювати та аналізувати навчальний матеріал; – показав уміння вільно виконувати завдання; – переконливо та логічно викладав матеріал, проявляв творчий підхід до виконання практичних завдань та підготовки до лабораторних робіт; – належним чином виконував завдання для самостійної роботи; – виконав завдання модульного контролю або допускав при усних відповідях та тестуванні окремі незначні неточності.
<p>«В»</p> <p>80-89 балів</p> <p>ставиться у разі, якщо студент:</p>	<ul style="list-style-type: none"> – розкривав згідно з програмою дисципліни зміст питань; – робив узагальнення та висновки з окремих питань; – виконав усі лабораторні роботи; – виконував завдання для самостійної роботи; – виконав завдання модульного контролю, але недостатньо використовував додаткову літературу; – при усних відповідях не досить повно і аргументовано викладав матеріал, а при тестуванні мали місце окремі неточності; – не проявив творчий підхід до виконання індивідуальних завдань та наукових повідомлень.
<p>«С»</p> <p>70-79 балів</p> <p>ставиться у разі, якщо студент:</p>	<ul style="list-style-type: none"> – розкривав згідно з програмою дисципліни зміст питань; – формулював висновки з окремих питань практичних занять; – брав участь у виконанні практичних завдань; – виконував завдання для самостійної роботи; – виконав завдання модульного контролю, але допускав окремі неточності при усних відповідях, тестуванні; – не проявляв належної активності на лекційних та лабораторних заняттях, недостатньо використовував додаткову літературу; неохайно виконував завдання лабораторних робіт.
<p>«D»</p> <p>60-69</p> <p>ставиться у разі, якщо студент:</p>	<ul style="list-style-type: none"> – відповідав на окремі питання, які обговорювалися; – формулював висновки з окремих питань; – виконував завдання для самостійної роботи; – виконав завдання модульного контролю, але допускав окремі неточності; – не проявляв належної активності на лабораторних заняттях та старанності при виконанні завдань для самостійної роботи; – недостатньо використовував додаткову літературу, не належним чином виконав практичні завдання; – виконав не всі завдання для самостійної роботи, або не виконав хоча б одну лабораторну роботу.
<p>«Е»</p> <p>50-59 балів</p> <p>ставиться у разі, якщо студент:</p>	<ul style="list-style-type: none"> – відповідав на окремі питання, які обговорювалися; – виконував окремі завдання для самостійної роботи; – виконав завдання модульного контролю, але допускав неточності при усних відповідях (будуючи свою відповідь на звичайному повторенні навчального матеріалу без його осмислення), тестуванні; – не проявляв належної активності на лабораторних заняттях, старанності при виконанні завдань для самостійної роботи; – недостатньо використовував основну та додаткову літературу; – виконав не всі лабораторні роботи; – не належним чином виконував індивідуальні завдання.

<p>«Fx»</p> <p>35-49 балів</p> <p>ставиться у разі, якщо студент:</p>	<ul style="list-style-type: none"> – поверхнево розкривав зміст питань, які розглядалися; – допускав суттєві помилки при усних та письмових відповідях; – поверхнево ознайомився з рекомендованою літературою; – частково виконав завдання для самостійної роботи; – не проявляв активності на практичних заняттях; – допускав принципові помилки під час виконання завдань; – не виконував лабораторні роботи; – не виконав завдання модульного контролю.
<p>«F»</p> <p>1-34 балів</p> <p>ставиться у разі, якщо студент:</p>	<ul style="list-style-type: none"> – поверхнево розкривав зміст питань, які розглядалися; – допускав суттєві помилки при усних та письмових відповідях, тестуванні; – поверхнево ознайомився з рекомендованою літературою; – не виконав завдання для самостійної роботи; – не виконав практичне завдання; – не виконував лабораторні роботи; – на підсумковому занятті не вміє відтворити зміст окремих питань, передбачених програмою дисципліни; – не виконав завдання модульного контролю.

Шкала оцінювання: національна та ЄКТС

Оцінка за національною шкалою	Оцінка за шкалою ЄКТС	
	Оцінка (бали)	Пояснення за розширеною шкалою
Відмінно	A (90-100)	відмінно
Добре	B (80-89)	дуже добре
	C (70-79)	добре
Задовільно	D (60-69)	задовільно
	E (50-59)	достатньо
Незадовільно	FX (35-49)	(незадовільно) з можливістю повторного складання
	F (1-34)	(незадовільно) з обов'язковим самостійним опрацюванням освітнього компоненту до перескладання

ПИТАННЯ ДЛЯ ПОТОЧНОГО КОНТРОЛЮ

Модуль 1. Онови проектування термоелектричного матеріалу та для віток термоелементів.

1. Як класифікуються термоелектричні матеріали?
2. Критерій ефективності термоелектричних матеріалів та його виведення.
3. Методи підвищення добротності.
4. Чисельні методи апроксимації функцій.
5. Узагальнені закони тепло- й електропровідності для термоелектричного середовища та їх фізичний зміст.
6. Які чисельні методи пошуку екстремуму функції Ви знаєте?
7. Як залежить добротність досліджуваного термоелектричного матеріалу від температури?
8. Що таке рухливість носіїв струму?
9. Які складові теплопровідності зумовлюють це явище?
10. Як реалізується метод інтерполяції в MathCad?
11. Як реалізується метод диференціювання в MathCad?

Модуль 2. Моделювання термоелектричного матеріалу на основі мікроскопічної теорії термоелектричного матеріалу.

1. Які механізми розсіювання носіїв електричного струму ви знаєте?
2. Які основні термодинамічні критерії вибору термоелектричного матеріалу?
3. Запишіть закон Відемана-Франца.

4. Що таке рівень Фермі?
5. Що таке виродження електронного газу?
6. Як впливає концентрація носіїв струму на параметр добротності?
7. Які механізми розсіювання Ви знаєте?
8. Як реалізується метод чисельного інтегрування в MathCad?
9. Як реалізується метод інтерполяції в MathCad?
10. Як реалізується побудова графіків в MathCad?

Модуль 3. Моделювання неоднорідних та анізотропних термоелементів.

1. Які фізичні причини поліпшення ефективності перетворення енергії при використанні секційних віток?
2. Сформулюйте розподілений ефект Пельтьє та Томсона.
3. Що таке оптимально неоднорідний матеріал?
4. Які фізичні передумови підвищення енергетичної ефективності при використанні ФГМ.
5. Сформулюйте Принцип максимуму Понтрягіна.
6. Які чисельні методи розв'язку систем звичайних диференціальних рівнянь Ви знаєте?
7. Що таке анізотропний термоелемент?
8. Яка анізотропні матеріали Ви знаєте?
9. Які ефекти в анізотропних матеріалах Ви знаєте?
10. Наведіть приклади неоднорідних матеріалів.

Модуль 4. Використання ComsolMultiphysics для 3-D моделювання термоелементів .

1. Які основні етапи моделювання фізичних процесів у COMSOL Multiphysics?
2. У чому переваги COMSOL Multiphysics для моделювання фізичних процесів у термоелементах?
3. Які основні етапи моделювання фізичних процесів у COMSOL Multiphysics?
4. Як будувати геометрію досліджуваного об'єкта в COMSOL Multiphysics?
5. Які особливості створення сітки скінченних елементів у COMSOL Multiphysics?
6. Як налаштовується обчислювальний процес у COMSOL Multiphysics?
7. Як проводиться чисельне моделювання генераторного термоелемента в COMSOL Multiphysics?
8. Як проводиться чисельне моделювання термоелемента охолодження в COMSOL Multiphysics?
9. Як розрахувати ККД та потужність генераторного термоелемента?
10. Як розрахувати холодильний коефіцієнт термоелемента охолодження?

ПИТАННЯ ДЛЯ ПІДСУМКОВОГО КОНТРОЛЮ

1. Як класифікуються термоелектричні матеріали?
2. Критерій ефективності термоелектричних матеріалів та його виведення.
3. Методи підвищення добротності.
4. Чисельні методи апроксимації функцій.
5. Узагальнені закони тепло- й електропровідності для термоелектричного середовища та їх фізичний зміст.
6. Які чисельні методи пошуку екстремуму функції Ви знаєте?
7. Як залежить добротність досліджуваного термоелектричного матеріалу від температури?
8. Що таке рухливість носіїв струму?
9. Які складові теплопровідності зумовлюють це явище?
10. Як реалізується метод інтерполяції в MathCad?
11. Як реалізується метод диференціювання в MathCad?
12. Які механізми розсіювання носіїв електричного струму ви знаєте?
13. Які основні термодинамічні критерії вибору термоелектричного матеріалу?
14. Запешіть закон Відемана-Франца.
15. Що таке рівень Фермі?
16. Що таке виродження електронного газу?

17. Як впливає концентрація носіїв струму на параметр добротності?
18. Які механізми розсіювання Ви знаєте?
19. Як реалізується метод чисельного інтегрування в MathCad?
20. Як реалізується метод інтерполяції в MathCad?
21. Як реалізується побудова графіків в MathCad?
22. Які фізичні причини поліпшення ефективності перетворення енергії при використанні секційних віток?
23. Сформулюйте розподілений ефект Пельтьє та Томсона.
24. Що таке оптимально неоднорідний матеріал?
25. Які фізичні передумови підвищення енергетичної ефективності при використанні ФГМ.
26. Сформулюйте Принцип максимуму Понтрягіна.
27. Які чисельні методи розв'язку систем звичайних диференціальних рівнянь Ви знаєте?
28. Що таке анізотропний термоелемент?
29. Яка анізотропні матеріали Ви знаєте?
30. Які ефекти в анізотропних матеріалах Ви знаєте?
31. Які основні етапи моделювання фізичних процесів у COMSOL Multiphysics?
32. У чому переваги COMSOL Multiphysics для моделювання фізичних процесів у термоелементах?
33. Які основні етапи моделювання фізичних процесів у COMSOL Multiphysics?
34. Як будувати геометрію досліджуваного об'єкта в COMSOL Multiphysics?
35. Які особливості створення сітки скінченних елементів у COMSOL Multiphysics?
36. Як налаштовується обчислювальний процес у COMSOL Multiphysics?
37. Як проводиться чисельне моделювання генераторного термоелемента в COMSOL Multiphysics?
38. Як проводиться чисельне моделювання термоелемента охолодження в COMSOL Multiphysics?
39. Як розрахувати ККД та потужність генераторного термоелемента?
40. Як розрахувати холодильний коефіцієнт термоелемента охолодження?

ЗАРАХУВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ НЕФОРМАЛЬНОЇ ОСВІТИ

Відповідно до «Порядку визнання у Чернівецькому національному університеті імені Юрія Федьковича результатів навчання, здобутих шляхом неформальної та/або інформальної освіти» (протокол №16 від 25 листопада 2024 року) (<https://www.chnu.edu.ua/universitytet/normatyvni-dokumenty/poriadok-vyznannia-u-chernivetskomu-natsionalnomu-universitytetu-imeni-yuriia-fedkovycha-rezultativ-navchannia-zdobutykh-shliakhom-neformalnoi-taabo-informalnoi-osvity/>) у процесі вивчення дисципліни здобувачу освіти може бути зараховано до 25% балів, отриманих за результатами неформальної та/ або інформальної освіти з проблем, що відповідають тематиці курсу.

Рекомендована література

Основна

1. <https://moodle.chnu.edu.ua/course/view.php?id=2128>
2. Комп'ютерне матеріалознавство. Методичні рекомендації до лабораторних робіт / Укл.: Черкез Р.Г. – Чернівці : Чернівецький національний університет, 2022. – 120 с.
3. Anatychuk L. I. Thermoelectricity: Functionally Graded Thermoelectric Materials / L. I. Anatychuk, L. N. Vikhor. – Chernivtsi, 2012. – Vol. IV – 172 p..
4. <https://mathcad.com.ua>
5. <https://www.comsol.com>

Додаткова

1. Афтандіянц Є.Г., Зазимко О.В., Лопатько К.Г. Матеріалознавство: Підручник. К.: Вища освіта. – 2012. – с 548
2. Snyder G. Jeffrey Thermoelectric efficiency and compatibility / G. Jeffrey Snyder, Tristan S. Ursell // Physical Review Letters. – 2003. – V. 91. – P. 148301.

3. Anatyshuk L. I. Computer simulation of functionally graded materials for thermoelectricity / L. I. Anatyshuk, L. N. Vikhor, R. G. Cherkez // Journal of Thermoelectricity. – 1997. – № 3. P. 43 – 61.
4. Thermoelectrics Handbook. Macro to Nano / ed. D. M. Rowe. – N. Y.: CRC Press, 2006
5. Anatyshuk L. I. Thermoelectricity / L. I. Anatyshuk – Institute of Thermoelectricity, Kyiv, Chernivtsi, 2005. – Vol. 2: Thermoelectric power converters. – 2005. – 348 p.

Інформаційні ресурси

1. <https://uk.wikipedia.org/>
2. <https://fizmat.7mile.net/materialoznavstvo/>
3. http://univer.nuczu.edu.ua/tmp_metod/924/MZTM_KONSP_LEK.pdf
4. <http://booklib.in.ua/category/biblioteka-knig/materialovedenie>
5. <http://library.kpi.kharkov.ua/NEW/AftandilMater.pdf>
6. <https://studfile.net/preview/5226210/>

ПОЛІТИКА АКАДЕМІЧНОЇ ДОБРОЧЕСНОСТІ

Дотримання політики щодо академічної доброчесності учасниками освітнього процесу при вивченні навчальної дисципліни регламентовано такими документами:

- «Етичний кодекс Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича»

<https://www.chnu.edu.ua/media/jxdfs0zb/etychnyi-kodeks-chernivetskoho-natsionalnoho-universytetu.pdf>

- «Положення про виявлення та запобігання академічному плагіату у Чернівецькому національному університеті імені Юрія Федьковича»

<https://www.chnu.edu.ua/media/hkzbr1b2/polozhennia-pro-vyivlennia-ta-zapobihannia-akademichnomu-plahiatu-u-chnu-2025.pdf>