Форма 3

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Національний університет «Запорізька політехніка»

Кафедра фізичного матеріалознавства
(найменування кафедри, яка відповідає за дисципліну)

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

В. о. декана ІФФ Євген ПАРАХНЄВИЧ

«28» 06 2026 року

ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

ОК 05 ТЕРМОДИНАМІКА І КІНЕТИКА ФАЗОВИХ ПЕРЕТВОРЕНЬ
(шифр за відповідною освітньою програмою та назва навчальної дисципліни)

освітня програма (спеціалізація) Матеріалознавство та термічна обробка металів
(назва освітньої програми (спеціалізації))

Спеціальність G8 Матеріалознавство
(код і найменування спеціальності)

галузь знань G Інженерія, виробництво та будівництво
(код і найменування галузі)

ступінь вищої освіти Другий (магістерський)
(назва ступеня вищої освіти)

2026 рік

програма з дисципліни Термодинаміка і кінетика фазових перетворень
(назва навчальної дисципліни)

спеціальності G8 Матеріалознавство
(код і найменування спеціальності)

освітня програма (спеціалізація) Матеріалознавство та термічна обробка металів
(назва освітньої програми (спеціалізації))

Розробник: Гіржон Василь Васильович, професор кафедри фізичного матеріалознавства, доктор фізико-математичних наук, професор
(вказати авторів, їхні посади, наукові ступені та вчені звання)

Програма погоджена:

Завідувач кафедри фізичного матеріалознавства — Дар'я ТКАЧ, 2026

Гарант освітньої програми — Наталя СОЛІДОР (ім'я прізвище), 2026

Схвалено науково-методичною комісією інженерно-фізичного факультету
(найменування факультету)

Протокол від «28» червня 2026 року № 9

Голова науково-методичної комісії — Євген ПАРАХНЄВИЧ (ім'я прізвище), 2026

1. Опис навчальної дисципліни

Загальна характеристика

Обов'язковий освітній компонент	
Рівень вищої освіти	Другий (магістерський) рівень
Ступінь вищої освіти	Магістр
Галузь знань	G «Інженерія, виробництво та будівництво»
Спеціальність	G8 «Матеріалознавство»
Обмеження щодо форм навчання	Без обмежень

Найменування показників	Характеристика навчальної дисципліни	
	денна форма навчання	заочна форма навчання
Кількість кредитів	4	
Модулів	2	-
Змістових модулів	4	-
Семестр	1	1
Загальна кількість годин	120	
з них аудиторних:	48	12
лекції *практичні* *лабораторні* *семінарські*	24 24 - -	6 6 - -
з них самостійної роботи:	72	108
Занять на тиждень на тиждень	4	2
Індивідуальні завдання	-	
Форма контролю	екзамен	
Курсова робота (проєкт) (*загальний обсяг*)	-	

1. Мета навчальної дисципліни

Метою курсу є формування професійних компетенцій при вивченні важливих теоретичних основ фізичного матеріалознавства, зокрема енергетичних характеристик фазових перетворень та ролі термодинамічних потенціалів у їх описанні, процесах гомогенного та гетерогенного зародкоутворення; впливу кінетичних факторів на процеси структуроутворення та вибору на основі аналізу ТТТ-кривих оптимальних режимів охолодження розплаву для отримання матеріалу з бажаними фізико-механічними властивостями.

2. Завдання вивчення дисципліни

Основні завдання навчальної дисципліни – отримання та засвоєння теоретичних основ причин та особливостей фазових переходів, розгляд класифікації фазових перетворень з точки зору термодинаміки; вивчення впливу кінетичних факторів теплової дії на процеси зародкоутворення і росту кристалічної фази, теоретична побудова і фізичний зміст С-подібних кривих та їх практичне використання.

3. Пререквізіти і постреквізіти навчальної дисципліни

Для успішного опанування навчальної дисципліни «Термодинаміка і кінетика фазових перетворень» необхідні базові знання із загального курсу фізики, вищої математики, фізики конденсованого стану, дефектів кристалічної будови, кристалографії, фізичних властивостей металів і сплавів.

Одержані знання з даної дисципліни можуть бути використані у подальшому в дослідницькій роботі, зокрема при вивченні структури металів і сплавів, їхніх фізико-хімічних властивостей та при написанні кваліфікаційних робіт.

4. Характеристика навчальної дисципліни

Компетентності та результати навчання, формування яких забезпечує вивчення дисципліни.

Загальні компетентності:

ЗК1. Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу.

ЗК2. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.

ЗК5. Здатність працювати автономно.

Спеціальні (фахові, предметні) компетентності:

СК05. Здатність до критичного аналізу та прогнозування характеристик нових та існуючих матеріалів, параметрів процесів їх отримання, оброблення і використання у виробах.

СК06. Здатність розуміти та використовувати математичні й числові методи моделювання властивостей, явищ та процесів.

Очікувані програмні результати навчання:

РН1. Розуміти та застосовувати принципи системного аналізу, причинно-наслідкових зв'язків між значущими факторами та науковими і технічними рішеннями в контексті існуючих теорій.

РН18. Збирати необхідну інформацію, використовуючи науково-технічну літературу, бази даних та інші джерела, аналізувати й оцінювати її.

5. Зміст навчальної дисципліни

Змістовий модуль 1. Поняття системи. Термодинамічні потенціали

Тема 1. Вступ. Критерії рівноваги системи і її стійкості. Матеріальна, термодинамічна та фізико-хімічна системи. Гомогенні і гетерогенні термодинамічні системи. Поняття фази. Зовнішні і внутрішні параметри термодинамічної системи. Варіантність системи.

Тема 2. Термодинамічні потенціали або характеристичні функції. Внутрішня енергія, ентропія, ентальпія, вільна енергія, термодинамічний потенціал Гіббса. Зв'язки між термодинамічними потенціалами. Закон зміни ентропії. Основна термодинамічна нерівність.

Тема 3. Системи із змінним числом частинок. Хімічний потенціал, фізичний зміст хімічного потенціалу.

Змістовий модуль 2. Кристалізація металевих сплавів

Тема 4. Стійкість системи. Критерії рівноваги. Ізольована система з фіксованим значенням енергії, об'єму та кількості частинок. Система в термостаті при постійних значеннях температури, об'єму та кількості частинок. Система в термостаті при постійних значеннях температури, тиску та кількості частинок.

Тема 5. Рівновага в системі, що складається з двох підсистем. Термічна, механічна та дифузійна рівноваги. Рівновага в однокомпонентній системі. Хімічний потенціал, термодинамічний потенціал Гіббса. Рівняння Клапейрона-Клаузіуса. Потрійна точка. Критична точка.

Тема 6. Рівновага у багатокомпонентній системі. Умова рівноваги щодо реакцій. Компоненти системи. Закон діючих мас. Правило фаз Гіббса.

Тема 7. Фазові переходи I та II роду та їхні термодинамічні ознаки. Прихована теплота фазового перетворення. Рівняння Еренфеста. Алотропія і поліморфізм.

Змістовий модуль 3. Плавлення й кристалізація металів

Тема 8. Теорія гомогенної кристалізації. Зміна вільної енергії зі зміною температури. Швидкість зародження центрів кристалізації. Лінійна швидкість росту кристалів. Гомогенне (самовільне) зародження. Поняття флуктуацій. Гомофазні та гетерофазні флуктуації. Міжфазна поверхня. Ізотермічний і ізохорний процеси кристалізації. Поняття зародку критичного радіусу. Ймовірність виникнення гетерофазної флуктуації. Енергія активації.

Тема 9. Гетерогенне зародження кристалів. Поняття гетерогенного зародкоутворення. Формування зародку на плоскій підкладинці (модель Фальмера).

Тема 10. Ріст кристалів із розплаву. Принцип Гіббса-Кюрі-Вульфа. Точка Вульфа. Механіка і кінетика росту кристалів. Сингулярні та несингулярні поверхні. Механізми зародкоутворення. Дислокаційний механізм. Нормальний механізм росту. Форма кристалів та будова зливків. Одержання монокристалів. Метод Чохральського. Метод Бріджмена.

Змістовий модуль 4. Кінетика росту кристалів

Тема 11. Рівняння Колмогорова–Аврамі–Мела–Джонсона (JMAK). Поняття уявного об’єму. Загальний вигляд рівняння Аврамі. Кінетична константа. Показник (індекс) Аврамі та його фізичний зміст. Компоненти зародження і росту. Графік кінетики перетворення (*S*-подібна крива або сигмоїда).

Тема 12. *Вплив швидкості охолодження розплаву на кристалізацію. C*-подібні (*TTT*) криві. Головне правило. Ступінь переохолодження. Процеси кристалізації при низьких і високих швидкостях охолодження розплаву. Закон Холла-Петча. Зв’язок між швидкістю кристалізації та *TTT*-кривою. Критична швидкість охолодження розплаву та її визначення.

6. Орієнтовний розподіл навчального часу

Назви змістових модулів і тем	Кількість годин											
	Денна форма						Заочна форма					
	Усього	у тому числі					усього	у тому числі				
		лк	пр	лаб	інд	с.р.		лк	пр	лаб	інд	с.р.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
МОДУЛЬ 1												
Змістовий модуль 1. Поняття системи. Термодинамічні потенціали												
Тема 1. Вступ. Критерії рівноваги системи і її стійкості.	10	2	2	-	-	6	4	-	-	-	-	4
Тема 2. Термодинамічні потенціали або характеристичні функції.	10	2	2	-	-	6	13	1	1	-	-	11
Тема 3. Системи із змінним числом частинок	10	2	2	-	-	6	13	1	1	-	-	11
Разом за змістовним модулем 1	30	6	6	-	-	18	30	2	2	-	-	26
Змістовий модуль 2. Рівновага фаз і фазові переходи												
Тема 4. Стійкість системи. Критерії рівноваги	10	2	2	-	-	6	6	1	-	-	-	5
Тема 5. Рівновага в системі, що складаєть-ся з двох підсистем	10	2	2	-	-	6	8	1	-	-	-	7
Тема 6. Рівновага у багатокомпонентній системі.	10	2	2	-	-	6	10	-	-	-	-	10
Тема 7. Фазові переходи I та II роду та їхні термодинамічні ознаки	10	2	2	-	-	6	6	-	1	-	-	5
Разом за змістовним модулем 2	40	8	8	-	-	24	30	2	1	-	-	27
МОДУЛЬ 2												
Змістовий модуль 3. Кристалізація металевих сплавів												
Тема 8. Теорія гомогенної кристалізації	10	2	2	-	-	6	7	-	-	-	-	7
Тема 9. Гетерогенне зародження кристалів	10	2	2	-	-	6	12	-	1	-	-	11

Тема 10. Ріст кристалів із розплаву	10	2	2	-	-	6	11	-	1	-	-	10
Разом за змістовним модулем 3	30	6	6	-	-	18	30	-	2	-	-	28
Змістовий модуль 4. Кінетика росту кристалів												
Тема 11. Рівняння Колмогорова-Аврамі-Мела–Джонсона (JMAK)	10	2	2	-	-	6	14	1	-	-	-	13
Тема 12. Вплив швидкості охолодження розплаву на кристалізацію розплаву. *C*-подібні криві	10	2	2	-	-	6	16	1	1	-	-	14
Разом за змістовним модулем 4	20	4	4	-	-	12	30	2	1	-	-	27
Усього годин	120	24	24	-	-	72	120	6	6	-	-	108

7. Теми практичних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Зв'зок між термодинамічними потенціалами	4
2	Хімічний потенціал. Фізичний зміст хімічного потенціалу	4
3	Закон діючих мас. Інваріантність системи	4
4	Фазові переходи I та II роду	4
5	Формування зародку на плоскій підкладинці	4
6	*C*-подібні (*TTT*)- криві та їх тлумачення	4
	Разом	24

8. Самостійна робота

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Типи матеріальних систем та їх означення	2
2	Поняття фази. Зовнішні і внутрішні параметри термодинамічної системи.	6
3	Температура і ентропія системи матеріальних точок	6
4	Система матеріальних точок при постійних значеннях температури, тиску та кількості частинок	4
5	Термічна, механічна та дифузійна рівноваги. Хімічний потенціал	4
6	Рівняння Клапейрона-Клаузіуса.	4
7	Фазові переходи II роду	2
8	Модель Фальмера	4
9	Поняття зародку критичного радіусу. Ймовірність виникнення гетерофазної флуктуації. Енергія активації	6
10	Форма кристалів та будова зливків. Одержання монокристалів. Метод Чохральського. Метод Бріджмена	6
11	Графік кінетики перетворення (*S*-подібна крива або сигмоїда)	8
12	Закон Холла-Петча.	8
	Разом	60

9. Форми та методи контролю

Поточний контроль: опитування/тестування за темою заняття.

Календарний контроль: проводиться двічі на семестр як моніторинг поточного стану виконання вимог навчальної програми (силабусу) після опрацювання кожного з двох модулів. Оцінювання проводиться за результатами аудиторної самостійної робота (в режимі онлайн чи офлайн, в залежності від ситуації). Форма контрольного заходу обирається в залежності від загального рівня підготовки групи (ситуаційні завдання, теоретичне тлумачення певних понять, тестові завдання). Максимальна кількість балів за кожну модульну самостійну роботу – 50 (загалом 100 балів).

Семестрова атестація проводиться у вигляді екзамену. До екзамену допускаються студенти за умови отримання позитивної оцінки по кожній самостійній роботі (СР). Позитивною вважається оцінка, яка складає не менше 40 % від кількості балів, які максимально можна отримати за кожну роботу, тобто не менше, ніж 20 балів за кожну аудиторну самостійну роботу.

Критерії оцінювання. Для оцінювання результатів навчання застосовується 100-бальна рейтингова система. Екзаменаційний білет містить два теоретичні питання, кожне з яких оцінюються у 20 балів. Всього 2х20=40 балів. Підсумкова екзаменаційна оцінка складається із суми 60% набраних в сумі балів за виконання поточних самостійних робіт (**максимум 60 балів**) + кількість балів, отриманих за відповіді на екзаменаційний білет (**максимум 40 балів**). Найбільша кількість балів, яку можна отримати – 100.

10. Політика курсу

Організація навчання та комунікація. Основні навчальні матеріали, завдання для самостійної роботи, критерії їх оцінювання та терміни виконання розміщуються в системі Moodle. Консультації проводяться відповідно до графіка консультацій викладача, а за необхідності — із застосуванням засобів дистанційного зв’язку.

Відвідування занять. Відвідування навчальних занять є важливою складовою опанування дисципліни. У разі пропуску заняття здобувач самостійно опрацьовує відповідний навчальний матеріал та за потреби може отримати консультацію викладача. Оцінювання здійснюється на підставі досягнення визначених результатів навчання та виконання передбачених програмою контрольних завдань.

Дедлайни та повторне виконання робіт. Терміни виконання навчальних завдань повідомляються здобувачам заздалегідь та зазначаються в Moodle. За наявності обґрунтованих обставин термін виконання може бути змінений за погодженням із викладачем. Роботи, за які отримано результат нижчий від мінімально встановленого рівня, можуть бути доопрацьовані та повторно подані відповідно до встановленого порядку.

Академічна доброчесність. Здобувачі зобов’язані дотримуватися Закону України «Про академічну доброчесність», Кодексу академічної доброчесності та інших нормативних документів НУ «Запорізька політехніка». Не допускаються академічний плагіат, фабрикація або фальсифікація даних, списування, виконання оцінюваної роботи іншою особою, недоброчесне використання результатів, згенерованих штучним інтелектом, та інші порушення академічної доброчесності.

Використання генеративного штучного інтелекту. Використання технологій генеративного штучного інтелекту здійснюється відповідно до Декларації про принципи використання генеративного штучного інтелекту в НУ «Запорізька політехніка». Допустимий рівень використання ШІ визначається умовами конкретного навчального завдання. У разі його використання здобувач повинен дотримуватися встановлених вимог щодо зазначення такого використання та самостійно перевіряти достовірність використаної інформації.

Оскарження результатів оцінювання. Здобувач має право отримати від викладача пояснення щодо результатів оцінювання та оскаржити результати контрольного заходу відповідно до нормативних документів НУ «Запорізька політехніка».

Академічна взаємодія. Учасники освітнього процесу дотримуються принципів взаємної поваги, академічної етики, недискримінації та толерантності. Цифрові пристрої можуть використовуватися під час занять у навчальних цілях за умови, що це не перешкоджає освітньому процесу.

11. Методичне забезпечення

1. Курс лекцій з дисципліни розташовано на платформі Moodle.

12. Перелік навчальної, наукової та довідкової літератури

Базова

1. Монастирський Г. Є., Гільчук А. В., Пономаренко С. М. Термодинаміка та молекулярна фізика. – КИЇВ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2025. – 225 с.
2. Андреєв В.О., Пінкевич І.П. Термодинаміка та статистична фізика. Конспект лекцій. Частина 1. - Київ, 2023. - 82 с.
3. Єрмолаєв О.М., Раба Г.І. Вступ до статистичної фізики і термодинаміки. – Харків: ХНУ, 2004.
4. Кучерук М.І., Горбачук Т.І., Луцик П.П. Молекулярна фізика і термодинаміка. – К: Техніка, 2006. – 178 с.
5. Косинська О.Л. Конспект лекцій з дисципліни „Термодинаміка та кінетика фазових перетворень”. – Кам’янське, Дніпровський державний технічний університет 2017. – 92 с.

Допоміжна

1. N. Goldenfeld. Lectures on Phase Transitions and the Renormalization Group. - Addison-Wesley, 1992.

2. І. Юхновський, М. Козловський, І. Пилюк. Мікроскопічна теорія фазових переходів у тривимірних системах. — Львів: Євросвіт, 2001.
3. Фізичне матеріалознавство: навч. посібн. / С. І. Мудрий, І. І. Штаблавий. – Львів: ЛНУ імені Івана Франка, 2012. – 418 с.
4. Мороз І.О. Основи термодинаміки. Суми: 2009, - 174 с.

Інформаційні ресурси

1. https://ocw.sumdu.edu.ua/stream/b8/5b/5f/13/f8/9e/dc/1b/84/54/c6/50/06/5d/69/75/index.html
2. https://www.youtube.com/watch?v=uyYxyTKEIzg
3. https://web.kpi.kharkov.ua/fchem/wp-content/uploads/sites/30/2022/11/L07-FX_2022_1.pdf
4. https://eduportal.kau.org.ua/course/view.php?id=23&section=4&lang=en
5. http://lib.kart.edu.ua/bitstream/123456789/6702/1/%D0%9A%D0%BE%D0%BD%D1%81%D0%BF%D0%B5%D0%BA%D1%82%20%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%86%D1%96%D0%B9.pdf
6. https://studfile.net/preview/9741258/page:17