

КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА

Фізичний факультет  
(назва факультету)

Кафедра загальної фізики



РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Термодинаміка металів та сплавів

(повна назва навчальної дисципліни)

для студентів

галузь знань 10 Природничі науки  
(шифр і назва)  
спеціальність 104 Фізика та астрономія  
(шифр і назва спеціальності)  
освітній рівень бакалавр  
(молодший бакалавр, бакалавр, магістр)  
освітня програма Фізика  
(назва освітньої програми)  
спеціалізований  
вибірковий блок Фізика наноструктур в металах та кераміках  
вид дисципліни вибіркова ВКБ

Форма навчання	<u>очна</u>
Навчальний рік	<u>2021/2022</u>
Семестр	<u>6</u> ✓
Кількість кредитів ECTS	<u>3</u> ✓
Мова викладання, навчання та оцінювання	<u>українська</u>
Форма заключного контролю	<u>залік</u> ✓

Викладачі: доцент Цареградська Тетяна Леонідівна

(Науково-педагогічні працівники, які забезпечують викладання даної дисципліни у відповідному навчальному році)

Пролонговано: на 20\_\_/20\_\_ н.р. \_\_\_\_\_ (\_\_\_\_\_) «\_\_» 20\_\_ р.  
(підпис, ПІБ, дата)

на 20\_\_/20\_\_ н.р. \_\_\_\_\_ (\_\_\_\_\_) «\_\_» 20\_\_ р.  
(підпис, ПІБ, дата)

на 20\_\_/20\_\_ н.р. \_\_\_\_\_ (\_\_\_\_\_) «\_\_» 20\_\_ р.  
(підпис, ПІБ, дата)

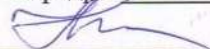
КИЇВ – 2021

Розробники<sup>1</sup>:

Царегралська Тетяна Леонівна, кандидат фіз.-мат. наук, доцент,  
доцент кафедри загальної фізики  
(вказати авторів: ПІБ, науковий ступінь, вчене звання, посада, кафедра)

ЗАТВЕРДЖЕНО

Зав. кафедри



(підпис)

(Боровий М.О.)

(прізвище та ініціали)

Протокол № 10 від 18 травня 2021 р.

**Схвалено науково-методичною комісією фізичного факультету**

протокол №4 від 22 червня 2021 року

Голова науково-методичної комісії



(підпис)

(Оліх О.Я.)

(прізвище та ініціали)

<sup>1</sup> Розробляється лектором. Робоча програма навчальної дисципліни розглядається на засіданні кафедри (циклової комісії – для коледжів), науково-методичної комісії факультету/інституту (раді навчального закладу - коледжу), підписується завідувачем кафедри (головою циклової комісії), головою науково-методичної комісії факультету/інституту (головою ради) і затверджується заступником декана/директора інституту з навчальної роботи (заступником директора коледжу).

## ВСТУП

**1. Мета дисципліни** – отримання глибоких та систематичних знань з курсу термодинаміки металів та сплавів, що включає засвоєння основних законів феноменологічної термодинаміки у застосуванні до даних об'єктів, а також термодинаміки наносистем.

**2. Попередні вимоги до опанування або вибору навчальної дисципліни:**

1. Знати закони молекулярної фізики та термодинаміки, статистичної фізики, основи математичного аналізу
2. Вміти застосовувати попередні знання з курсів математичного аналізу, диференціальних та інтегральних рівнянь та математичної фізики для розв'язку фізичних задач.
3. Володіти навичками знаходження похідних та частинних похідних, знаходження екстремумів функцій, розв'язування рівнянь у частинних похідних, знаходження похідних складних функцій.

**3. Анотація навчальної дисципліни / референс:**

В рамках курсу «Термодинаміка металів та сплавів» розглядаються закони та методи феноменологічної термодинаміки в застосуванні до металів та бінарних сплавів та термодинамічні функції гетерогенних бінарних систем, квазіхімічна теорія розчинів, термодинаміка наносистем. Мета вивчення дисципліни – отримання глибоких та систематичних знань з курсу феноменологічної термодинаміки у застосуванні до металів та сплавів. Навчальна задача курсу полягає в засвоєнні методів опису та дослідження термодинамічних властивостей твердих тіл, оволодіння методами і принципами розв'язку прикладних задач по розрахунку термодинамічних функцій для металів та сплавів. Результати навчання полягають в опануванні законів термодинаміки у застосуванні до металів та сплавів, методу термодинамічних потенціалів Гіббса, вмінні застосовувати на практиці метод термодинамічних потенціалів Гіббса, графічно визначати парціальні та відносні парціальні термодинамічні функції за відомими інтегральними для бінарних систем, розраховувати парціальні та відносні парціальні функції для одного з компонентів за відомими парціальними функціями. Методи викладання: лекції, консультації. Методи оцінювання: опитування в процесі лекції, контрольні роботи після основних розділів спецкурсу, залік.

Підсумкова оцінка виставляється на основі проміжних оцінок (60%) та заліку (40%).

**4. Завдання (навчальні цілі)** – оволодіння методами і принципами необхідними в майбутній практичній діяльності фахівця, вміннями і навичками для запобігання небезпек.

Згідно вимог Стандарту вищої освіти України (перший (бакалаврський) рівень вищої освіти, галузь знань 10 «Природничі науки»), спеціальність 104 «Фізика та астрономія» дисципліна забезпечує набуття здобувачами освіти наступних **компетентностей**:

### **Інтегральних:**

Здатність розв'язувати складні спеціалізовані задачі та практичні проблеми з фізики у професійній діяльності або у процесі подальшого навчання, що передбачає застосування певних теорій і методів фізики і характеризується складністю та невизначеністю умов.

### **Загальних:**

ЗК1. Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу.

ЗК2. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.

ЗК3. Навички використання інформаційних і комунікаційних технологій.

ЗК5. Здатність приймати обґрунтовані рішення.

**Фахових:**

ФК1. Знання і розуміння теоретичного та експериментального базису сучасної фізики та астрономії.

ФК2. Здатність використовувати на практиці базові знання з математики як математичного апарату фізики і астрономії при вивченні та дослідженні фізичних та астрономічних явищ і процесів.

ФК5. Здатність виконувати обчислювальні експерименти, використовувати чисельні методи для розв'язування фізичних та астрономічних задач і моделювання фізичних систем.

ФК9. Здатність працювати з джерелами навчальної та наукової інформації.

ФК10. Здатність самостійно навчатися і опановувати нові знання з фізики, астрономії та суміжних галузей.

ФК14. Здатність здобувати додаткові компетентності через вибіркові складові освітньої програми, самоосвіту, неформальну та інформальну освіту.

ФК15. Здатність аналізувати світові тренди розвитку фізики та астрономії для вибору власної освітньої траєкторії навчання та тематики майбутніх наукових досліджень.

**5. Результати навчання за дисципліною:** (описуються з детальною достовірністю для розробки заходів оцінювання)

<i>Результат навчання</i> (1. знати; 2. вміти; 3. комунікація*; 4. автономність та відповідальність*)		<i>Методи викладання і навчання</i>	<i>Методи оцінювання</i>	<i>Відсоток у підсумковій оцінці з дисципліни</i>
Код	Результат навчання			
1.1	<i>Знати основні закони термодинаміки, метод термодинамічних потенціалів, загальні умови термодинамічної рівноваги, умови рівноваги в гомогенних та гетерогенних системах.</i>	<i>лекції</i>	<i>Модульні контрольні роботи, перевірка самостійної роботи студентів, опитування в процесі лекції, залік.</i>	20
1.2	<i>Знати теорію розчинів (ідеальних, реальних (регулярних, атермальних, розбавлених), квазіхімічну теорію розчинів.</i>	<i>лекції</i>	<i>Модульні контрольні роботи, перевірка самостійної роботи студентів, опитування в процесі лекції, залік.</i>	20
2.1	<i>Вміти застосовувати на практиці метод термодинамічних потенціалів Гіббса, графічно визначати парціальні та відносні парціальні термодинамічні функції за відомими інтегральними для бінарних систем, розраховувати парціальні та відносні парціальні функції для одного з компонентів за відомими</i>	<i>лекції</i>	<i>Модульні контрольні роботи, перевірка самостійної роботи студентів, опитування в</i>	10

\* заповнюється за необхідністю, наприклад для практик, лабораторних курсів тощо.

	<i>парціальними функціями другого компонента</i>		<i>процесі лекції, залік.</i>	
2.2	<i>Вміти аналізувати основні типи діаграм стану двокомпонентних систем за допомогою ізобаро-ізотермічного потенціалу, розраховувати криві рівноваги та будувати діаграми стану.</i>	<i>лекції</i>	<i>Модульні контрольні роботи, перевірка самостійної роботи студентів, опитування в процесі лекції, залік.</i>	10

## 6. Співвідношення результатів навчання дисципліни із програмними результатами навчання (необов'язково для вибіркових дисциплін)

<b>Результати навчання дисципліни</b>	<b>1.1</b>	<b>1.2</b>	<b>2.1</b>	<b>2.2</b>
<b>Програмні результати навчання</b>				
ПРН1. Знати, розуміти та вміти застосовувати основні положення загальної та теоретичної фізики, зокрема, класичної, релятивістської та квантової механіки, молекулярної фізики та термодинаміки, електромагнетизму, хвильової та квантової оптики, фізики атома та атомного ядра для встановлення, аналізу, тлумачення, пояснення й класифікації суті та механізмів різноманітних фізичних явищ і процесів для розв'язування складних спеціалізованих задач та практичних проблем з фізики та астрономії.	+	+	+	+
ПРН3. Знати і розуміти експериментальні основи фізики: аналізувати, описувати, тлумачити та пояснювати основні експериментальні підтвердження існуючих фізичних теорій.	+	+		
ПРН4. Вміти застосовувати базові математичні знання, які використовуються у фізиці та астрономії: з аналітичної геометрії, лінійної алгебри, математичного аналізу, диференціальних та інтегральних рівнянь, теорії ймовірностей та математичної статистики, теорії груп, методів математичної фізики, теорії функцій комплексної змінної, математичного моделювання.			+	+
ПРН5. Знати основні актуальні проблеми сучасної фізики та астрономії.	+	+		
ПРН22. Розуміти значення фізичних досліджень для забезпечення сталого розвитку суспільства.			+	+
ПРН28. Мати уявлення про трансдисциплінарний шлях розвитку науки та його значення для вибору майбутньої освітньої траєкторії.	+	+	+	+

### Структура курсу

Курс складається з 2-х змістових модулів: «Закони та методи феноменологічної термодинаміки у застосуванні до металів та сплавів», який включає в себе 8 лекцій та «Теорія розчинів. Термодинамічні функції гетерогенних бінарних систем», який складається з 7 лекцій.

### 7. Схема формування оцінки:

**7.1. Форми оцінювання студентів:** (зазначається перелік видів робіт та форм їх контролю / оцінювання із зазначенням Min. – рубіжної та Max. кількості балів чи відсотків)

- семестрове оцінювання:

1. Модульна контрольна робота 1 (12 балів – 20 балів). Контроль с.р.с. (12 балів – 20 балів).
2. Модульна контрольна робота 2 (12 балів – 20 балів).

- підсумкове оцінювання у формі заліку

**Підсумкове оцінювання у формі екзамену<sup>1</sup>:** (обов'язкове проведення екзаменаційного оцінювання в письмовій формі)

	ЗМ1/Частина 1 (за наявності)	ЗМ2/Частина 2 (за наявності)	Залік	Підсумкова оцінка
Мінімум	<u>24</u>	<u>12</u>	<u>24</u>	<u>60</u>
Максимум	<u>40</u>	<u>20</u>	<u>40</u>	<u>100</u>

у випадку комплексного екзамену слід вказати питому вагу складових

Студент не допускається до заліку, якщо під час семестру набрав менше 36 балів.

(слід чітко прописати умови, які висувуються викладачами даної дисципліни).

Оцінка за іспит не може бути меншою **24 балів** для отримання загальної позитивної оцінки за курс.

**7.2 Організація оцінювання:** (обов'язково зазначається порядок організації передбачених робочою навчальною програмою форм оцінювання із зазначенням, у тому числі, результатів навчання, опанування яких перевіряється конкретним оцінюванням).

**7.3. Шкала відповідності**

Відмінно / Excellent	90-100
Добре / Good	75-89
Задовільно / Satisfactory	60-74
Незадовільно з можливістю повторного складання / Fail	35-59
Незадовільно з обов'язковим повторним вивченням дисципліни / Fail	0-34
Зараховано / Passed	60-100
Не зараховано / Fail	0-59

## 8. СТРУКТУРА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ ТЕМАТИЧНИЙ ПЛАН ЛЕКЦІЙ І ЛАБОРАТОРНИХ ЗАНЯТЬ

№ п/п	Назва теми	Кількість годин		
		лекції	лабораторні	Самостійна робота
<b>Частина 1.</b>				
<b>Закони та методи термодинаміки в застосуванні до металів та сплавів</b>				
1	Тема 1. Вступ. Закони термодинаміки. Метод термодинамічних потенціалів Гіббса. с.р.с. Вивчення матеріалу лекції. Застосування методу для вивчення термодинамічних властивостей твердих тіл.	2		4

<sup>1</sup> Семестрову кількість балів формують бали, отримані студентом у процесі теоретичного засвоєння матеріалу з усіх розділів дисципліни, семінарських занять, виконання практичних, лабораторних, індивідуальних, підсумкових контрольних робіт, творчих робіт впродовж семестру, передбачених робочою навчальною програмою (**100 балів** - для залікових дисциплін, у випадку, якщо дисципліна завершується екзаменом, то розподіл здійснюється за таким алгоритмом: **60 балів (60%) – семестровий контроль і 40 балів (40%) – екзамен**).

2	<p><b>Тема 2.</b> Рівняння Гіббса–Гельмгольца. термодинамічні функції однокомпонентних систем. Визначення термодинамічних функцій чистих металів. Зведена вільна енергія Гіббса.</p> <p><b>с.р.с.</b> Вивчення матеріалу лекції. Розрахунок термодинамічних функцій пари металу, що знаходиться в рівновазі з рідкою та твердою фазами.</p>	2		4
3	<p><b>Тема 3.</b> Знаходження зв'язку між <math>C_p</math> та <math>C_v</math> і швидкості звуку за допомогою термодинамічного методу.</p> <p><b>с.р.с.</b> Вивчення матеріалу лекції.</p>	2		4
4	<p><b>Тема 4.</b> Гомогенні та гетерогенні системи. Загальні умови термодинамічної рівноваги. Хімічний потенціал.</p> <p><b>с.р.с.</b> Вивчення матеріалу лекції. Екстенсивні та інтенсивні термодинамічні параметри. Об'єднане рівняння 1-го та 2-го законів термодинаміки для гомогенних багатоконпонентних систем.</p>	2		4
5	<p><b>Тема 5.</b> Умови рівноваги в гомогенних системах. Закон діючих мас.</p> <p><b>с.р.с.</b> Вивчення матеріалу лекції. Константа хімічної рівноваги.</p>	2		4
6	<p><b>Тема 6.</b> Умови рівноваги в гетерогенних системах. Правило фаз Гіббса.</p> <p><b>с.р.с.</b> Вивчення матеріалу лекції. Нонваріантний стан гетерогенної системи.</p>	2		4
7	<p><b>Тема 7.</b> Рівняння Клапейрона-Клаузіуса та рівняння Еренфеста. <b>с.р.с.</b> Вивчення матеріалу лекції. Змішані фазові переходи.</p>	2		4
8	<p><b>Тема 8.</b> Парціальні та інтегральні термодинамічні функції для бінарних систем. рівняння Гіббса-Дюгема. Відносні інтегральні та парціальні термодинамічні функції. Методика розрахунку парціальних термодинамічних функцій для бінарних систем за відомими інтегральними функціями.</p> <p><b>с.р.с.</b> Вивчення матеріалу лекції. Зв'язок між відносними інтегральними та парціальними термодинамічними функціями для бінарних сплавів. Графічні методи розрахунку відносних парціальних термодинамічних функцій за відомими інтегральними. Підготовка до підсумкової модульної контрольної роботи.</p>	2		4
<i>Підсумкова модульна контрольна робота 1</i>				
<b>Частина 2. Теорія розчинів. Термодинаміка наносистем.</b>				
9	<p><b>Тема 9.</b> Ідеальні розчини. Закон Рауля. Ентальпія, відносна зміна об'єму при утворенні ідеального розчину.</p> <p><b>с.р.с.</b> Вивчення матеріалу лекції. Додатне та від'ємне відхилення від закону Рауля. Вирази для парціальної та інтегральної ентропії та вільної енергії Гіббса ідеального розчину.</p>	2		4
10	<p><b>Тема 10.</b> Реальні розчини. Функція активності. Активність (ефективна концентрація). Функція леткості, функція активності. Надлишкові термодинамічні функції.</p> <p><b>с.р.с.</b> Вивчення матеріалу лекції. Вирази для парціальної та інтегральної ентропії та вільної енергії Гіббса реального розчину.</p>	2		4
11	<p><b>Тема 11.</b> Розбавлені та регулярні розчини. Закон Генрі. Атермальні розчини.</p> <p><b>с.р.с.</b> Вивчення матеріалу лекції.</p>	2		4

	Активність розчинника.			
12	<b>Тема 12.</b> Термодинамічні функції для ідеальних, реальних, розбавлених розчинів. <b>с.р.с.</b> Вивчення матеріалу лекції. Експериментальні дослідження для визначення активності (ефективної концентрації) компонентів сплаву.	2		4
13	<b>Тема 13.</b> Квазіхімічна теорія розчинів. Сильно розбавлені розчини. <b>с.р.с.</b> Вивчення матеріалу лекції. Концентраційна залежність відносної інтегральної фільної енергії Гіббса при від'ємному відхиленні від закону Рауля.	2		4
14	<b>Тема 14.</b> Термодинамічні функції гетерогенних бінарних систем. Побудова діаграми стану типу «сигара». Термодинамічні функції для бінарної системи з діаграмою стану евтектичного типу. <b>с.р.с.</b> Вивчення матеріалу лекції. Діаграма стану евтетичного типу. Правило відрізків (важелів).	2		4
15	<b>Тема 15.</b> Термодинаміка наносистем. <b>с.р.с.</b> Вивчення матеріалу лекції. Концентраційна залежність відносної інтегральної фільної енергії Гіббса в двофазній області. Підготовка до підсумкової модульної контрольної роботи.	2		4
	<i>Підсумкова модульна контрольна робота</i>			
	<b>ВСЬОГО</b>	<b>30</b>		<b>60</b>

Примітка: слід зазначити теми, винесені на самостійне вивчення

**Загальний обсяг 90 год.<sup>2</sup>**, в тому числі:

Лекцій – **30 год.**

Семінари – **0 год.**

Практичні заняття – **0 год.**

Лабораторні заняття – **30 год.**

Тренінги – **0 год.**

Консультації - **\_\_\_ год.**

Самостійна робота - **60 год.**

### ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТІВ

#### I. Теорія

- 2) Види термодинамічний процесів: рівноважні (нерівноважні); оборотні (необоротні), колові.
- 3) Нульовий принцип термодинаміки.
- 4) Перший принцип термодинаміки.
- 5) Внутрішня енергія. Концепція нульової енергії
- 6) Політропічні процеси.
- 7) Перший принцип термодинаміки для ізопроцесів.
- 8) Другий принцип термодинаміки.
- 9) «Вічні двигуни» I та II роду.
- 9) Цикл Карно. ККД цикла Карно.
- 10) Ентропія. Термодинамічна ймовірність
- 11) Другий принцип термодинаміки в інтегральній формі.
- 12) Формулювання II принципу термодинаміки в статистичній фізиці.
- 13) Парадокс «Теплова смерть Всесвіту», розв'язання парадоксу.
- 14) Парадокс «Демон Максвелла», розв'язання парадоксу.
- 15) Третій принцип термодинаміки (теорема Нернста).
- 16) Термодинамічні потенціали: термодинамічний потенціал Гіббса, вільна енергія Гельмгольца, ентальпія, внутрішня енергія. Мнемонічний квадрат.

<sup>2</sup> Загальна кількість годин, відведених на дану дисципліну згідно навчального плану.



## II. Задачі.

- 1) У скільки разів збільшиться об'єм, який займає  $\nu = 0.4$  моль водню, при ізотермічному розширенні, якщо при цьому газ отримав теплоту  $Q = 800$  Дж? Температура водню  $T = 300$  К.
- 2) В двох теплоізоляованих циліндрах об'ємами  $V_1 = 3$  л і  $V_2 = 5$  л знаходяться однакові гази, які мають тиски  $p_1 = 100$  кПа і  $p_2 = 150$  кПа та температури  $T_1 = 300$  К і  $T_2 = 320$  К, відповідно. Циліндри сполучені трубою з краном. Кран відкривають і гази змішуються. Яка температура  $T$  і який тиск  $p$  встановляться в циліндрах після змішування? Об'ємом трубки знехтувати.
- 3) Азот масою  $m = 2$  кг, який має температуру  $T = 288$  К, адіабатично стискають, збільшуючи тиск в  $n = 10$  разів. Визначити роботу, витрачену на стиснення газу.
- 4) Визначити зміну ентропії при нагріванні  $m = 100$  г азоту від  $t_1 = 17^\circ$  до  $t_2 = 100^\circ$  при сталому тиску.
- 5) Знайти приріст ентропії одного молю ідеального газу – діоксиду вуглецю  $\text{CO}_2$  при збільшенні його абсолютної температури в  $n$  разів, якщо процес нагрівання: а) ізохорний; б) ізобарний.
- 6) Об'єм ідеального газу з показником адіабати  $\gamma$  змінюють за законом  $V = \frac{a}{T}$ ,  $a$  – стала. Знайти кількість теплоти, що отримано одним молем газу в цьому процесі, якщо температура газу має приріст  $\Delta T$ .
- 7) Теплова машина здійснює цикл, який складається з ізотерми, ізобари та ізохори. Робочим тілом машини є ідеальний газ з показником адіабати  $\gamma = 1.4$ . Максимальна температура газу при цьому  $T_{\max} = 600$  К, мінімальна –  $T_{\min} = 300$  К; максимальний об'єм, який займає газ –  $V_{\max} = 2$  л, мінімальний –  $V_{\min} = 1$  л. Обчислити ККД цієї машини.
- 8) При політропічному процесі молярна теплоємність деякої кількості газу Ван-дер-Ваальса дорівнює  $C$ . Отримати рівняння цього політропічного процесу.

## 9. РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА<sup>3</sup>:

### Основна: (Базова)

1. Л.А. Булавін, В.І. Лисов, С.Л. Рево, В.І. Оглобля, Т.Л. Цареградська. Фізика іонно-електронних рідин. Монографія. Київ, Вид.-поліграфічний центр „Київський університет”, 2008, 384 с. Бібліотека фізичного факультету.
2. А.П. Шпак, В. І. Лисов, Ю. А. Куницький, Т. Л. Цареградська. Термодинаміка металів і сплавів. Київ: Академперіодика, 2002 – 71 с. <http://gen.phys.univ.kiev.ua/wp-content/uploads/2013/02/thermodynamic.pdf>
3. Лисов В.І., Цареградська Т.Л...Куницький Ю.А.Термодинамічний аналіз процесу кристалізації сплавів системи Ni-Zr. Журнал нано- та електронної фізики, Vol. 10, No 4, 2018. 04008-1 - 04008-4. doi: 10.21272/jnper.10(4).04008
4. В.В. Лобанов, М.І. Терєбінська, О.І. Ткачук. Термодинамічний підхід до опису властивостей наночастинок та наносистем. Поверхня. 2018. Вип. 10(25). С. 179–215. doi: 10.15407/Surface.2018.10.180
5. Е.И.Харьков, В.И. Лысов, В.Е. Федоров “Термодинамика металлов”, Киев, изд-во “Вища школа”, 1982 Бібліотека фізичного факультету.

### Додаткова:

1. Свелін Р.А. Термодинамика твердого состояния. М.: Металлургия, 1968, 314 с.
2. И.П. Базаров. Термодинамика. М.: Высшая школа, 1991, 376с.
3. Морачевский А.Г., Фирсова Е.Г. Термодинамика жидких металлов и сплавов: учебное пособие., СПб: «Лань», 2016, 240 с.
4. Фізична хімія: задачі та вправи: навчальний посібник / В. І. Рубцов. – 2-ге вид., випр. – Х. : ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2016. – 416 с.
5. Ашкрофт Н., Мермін Н. Фізика твердого тела: 2-х т. М., Мир, 1979, 821с.
6. И.П. Базаров. Термодинамика. М.: Высшая школа, 1991, 376с.
7. В. М. Глазов “Основы физической химии”, Москва. “Высшая школа”, 1981.
8. [https://docs.google.com/file/d/1DkSrmiB98ng7ALS9SsKugThO3bgtzyxmzSNk4AXF1\\_V2Vwp\\_y\\_XW3TC6gT5-/edit?pli=1](https://docs.google.com/file/d/1DkSrmiB98ng7ALS9SsKugThO3bgtzyxmzSNk4AXF1_V2Vwp_y_XW3TC6gT5-/edit?pli=1)

<sup>3</sup> В тому числі Інтернет ресурси