

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА**

Фізичний факультет  
(назва факультету)

Кафедра молекулярної фізики

**«ЗАТВЕРДЖУЮ»**

Заступник декана  
з навчальної роботи  
Момот О.В.

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2022 року

**РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ  
ДИСЦИПЛІНИ<sup>1</sup>**

Молекулярна фізика  
(повна назва навчальної дисципліни)

**для студентів**

галузь знань	<u>10 Природничі науки</u> (шифр і назва)
спеціальність	<u>104 Фізика та астрономія</u> (шифр і назва спеціальності)
освітній рівень	<u>бакалавр</u> (молодший бакалавр, бакалавр, магістр)
освітня програма	<u>Фізичне матеріалознавство/неметалічне матеріалознавство</u> (назва освітньої програми)
вид дисципліни	<u>обов'язкова</u>

Форма навчання	<u>денна</u>
Навчальний рік	<u>2022/2023</u>
Семестр	<u>2</u>
Кількість кредитів ECTS	<u>6</u>
Мова викладання, навчання та оцінювання	<u>українська</u>
Форма заключного контролю	<u>іспит</u>

Викладачі: професор Гаврюшенко Дмитро Анатолійович

(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)

**КИЇВ – 2022**

Розробники<sup>2</sup>: Гаврюшенко Дмитро Анатолійович, доктор фіз.-мат. наук, професор,  
професор кафедри молекулярної фізики  
(вказати авторів: ПІБ, науковий ступінь, вчене звання, посада, кафедра)

ЗАТВЕРДЖЕНО

Зав. кафедри молекулярної фізики

\_\_\_\_\_ (Булавін Л.А.)  
(підпис) (прізвище та ініціали)

Протокол № 12 від «19» квітня 2022 р.

**Схвалено науково-методичною комісією фізичного факультету**

Протокол № 4 від «22» червня 2022 року

Голова науково-методичної комісії \_\_\_\_\_ (Оліх О.Я.)  
(підпис) (прізвище та ініціали)

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2022 року

---

<sup>2</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** – підтримання та засвоєння базових знань з основ термодинаміки та молекулярно-кінетичної теорії речовини, а також навичок до застосування цих знань в галузі експериментальних та теоретичних досліджень теплофізичних властивостей речовини в різних агрегатних станах.

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

1. Знати основні поняття шкільного курсу «Фізика», університетського курсу «Механіка», «Математичний аналіз» (перший семестр), «Аналітична геометрія та лінійна алгебра» (перший семестр).
2. Вміти логічно і послідовно формулювати основні положення і закони молекулярної фізики та термодинаміки; працювати з основними законами збереження механічних величин; вільно оперувати поняттями математичного аналізу і застосовувати їх до фізичних проблем.
3. Володіти елементарними навичками отримання і аналізу інформації, елементарними навичками пошуку та опрацювання спеціалізованої літератури, побудови розв'язку алгебраїчних і диференціальних рівнянь, побудови та аналізу графічних залежностей.

### 3. Анотація навчальної дисципліни / референс:

У курсі молекулярної фізики розглядаються макроскопічні явища, у тому числі теплові, виходячи з особливостей атомно-молекулярної будови речовини, та основні закони молекулярної фізики в межах курсу загальної фізики для фізичних факультетів класичних університетів. Викладаються два основні методи дослідження макроскопічних явищ: термодинамічний і статистичний. Властивості тіл в різних агрегатних станах пояснюються, властивостями частинок, з яких вони складаються, силами, які діють між частинками. Демонструється зв'язок молекулярної фізики з хімією та біологією. Фундаментальний характер закономірностей, що представлені в даному курсі, визначає його базисне місце серед інших курсів фізики, зокрема, курсів термодинаміки і статистичної фізики, атомної фізики і частково електрики та магнетизму. Результати навчання полягають в умінні застосовувати основні закони молекулярної фізики як для розв'язку задач, так і в отриманні навичок практичного використання таких законів при виконанні експериментальних лабораторних робіт з молекулярної фізики. Методи викладання: лекції, практичні заняття, консультації, іспит. Методи оцінювання: опитування в процесі лекції, колоквіум, контрольні роботи після основних розділів курсу, перевірка домашніх завдань, екзамен. Підсумкова оцінка складається з семестрових модульних оцінок (60%) та оцінки підсумкового контролю знань (40%).

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

Згідно вимог проекту Стандарту вищої освіти України (перший (бакалаврський) рівень вищої освіти, галузь знань 10 «Фізика», 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:*

- ЗК01. Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу.

- ЗК06. Навички міжособистісної взаємодії.
- ЗК11. Здатність діяти соціально відповідально та свідомо.
- ЗК15. Здатність зберігати та примножувати моральні, культурні, наукові цінності і досягнення суспільства на основі розуміння історії та закономірностей розвитку предметної області, їх місця у загальній системі знань про природу і суспільство та у розвитку суспільства, техніки і технологій, використовувати.

спеціальних (фахових, предметних):

- ФК09. Здатність працювати з джерелами навчальної та наукової інформації.
- ФК15. Здатність аналізувати світові тренди розвитку фізики та астрономії для вибору власної освітньої траєкторії.

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

Результат навчання (1. знати; 2. вміти; 3. комунікація*; 4. автономність та відповідальність*)		Методи викладання і навчання	Методи оцінювання	Відсоток у підсумковій оцінці з дисципліни
Код	Результат навчання			
1.1	Знати математичне формулювання та фізичний зміст основних принципів та законів молекулярної фізики. Знати основні фізичні експерименти, на яких базуються закони молекулярної фізики. Знати одиниці вимірювання основних фізичних величин, що характеризують явища молекулярної фізики, у Системі інтернаціональній (СИ).	Лекції, самостійна робота, практичні заняття	Контрольні роботи, перевірка домашніх завдань, опитування під час практичних занять, колоквиум, екзамен.	15
1.2	Знати два методи описування і дослідження процесів, які відбуваються в макроскопічних тілах: статистичний і термодинамічний.	Лекції, самостійна робота, практичні заняття	Контрольні роботи, перевірка домашніх завдань, опитування під час практичних занять, колоквиум, екзамен.	10
1.3	Розуміти зв'язок молекулярної фізики та термодинаміки з іншими науками хімічного та біологічного напрямку.	Лекції, самостійна робота, практичні заняття	Контрольні роботи, перевірка домашніх завдань, опитування під час практичних занять, колоквиум, екзамен.	10
2.1	Вміти логічно і послідовно формулювати основні положення і закони молекулярної фізики та термодинаміки. Розрахувати теплофізичні властивості	Лекції, самостійна робота, практичні заняття	Контрольні роботи, перевірка домашніх	15

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

	речовини три наявності інформації про термічне та калоричне рівняння стану.		завдань, опитування під час практичних занять, колоквіум, екзамен.	
2.2	Вміти пов'язувати макроскопічні характеристики речовини з особливостями її молекулярної структури. Застосовувати методи молекулярної фізики та термодинаміки у інших галузях науки.	Лекції, самостійна робота, практичні заняття	Контрольні роботи, перевірка домашніх завдань, опитування під час практичних занять, колоквіум, екзамен.	20
2.3	Вміти самостійно працювати з відповідною літературою по молекулярній фізиці та основам термодинаміки. Самостійно приймати рішення стосовно свого професійного розвитку.	Самостійна робота, практичні заняття	Контрольні роботи, перевірка домашніх завдань, опитування під час практичних занять, колоквіум, екзамен.	9
2.4	Вміти розв'язувати основні типи задач з молекулярної фізики; створювати фізичні моделі макроскопічних явищ на основі атомно-молекулярної будови речовини.	Самостійна робота, практичні заняття	Контрольні роботи, перевірка домашніх завдань, опитування під час практичних занять, колоквіум, екзамен	15
3.1	Вміти розвивати навички міжособистісної взаємодії, розвивати софт скілз.	Самостійна робота, практичні заняття	Перевірка домашніх завдань, опитування під час практичних занять,	3
4.1	Вміти автономно діяти соціально відповідально та свідомо, відповідально відноситись до принципів наукової доброчесності.	Лекції, самостійна робота, практичні заняття	Контрольні роботи, перевірка домашніх завдань, опитування під час практичних занять, колоквіум, екзамен	3

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

Результати навчання дисципліни	1.1	1.2	1.3	2.1	2.2	2.3	2.4	3.1	4.1
<b>Програмні результати навчання</b>									
ПРН5. Знати основні актуальні проблеми сучасної фізики та астрономії.	+	+	+	+		+	+		
ПРН6. Оцінювати вплив новітніх відкриттів на розвиток сучасної фізики та астрономії	+	+	+	+	+				
ПРН17. Знати і розуміти роль і місце фізики, астрономії та інших природничих наук у загальній системі знань про природу та суспільство, у розвитку техніки й технологій та у формуванні сучасного наукового світогляду	+	+	+	+			+		+
ПРН19. Знати та розуміти необхідність збереження та примноження моральних, культурних та наукових цінностей і досягнень суспільства	+	+	+	+		+		+	+
ПРН24. Розуміти місце фізики та астрономії у загальній системі знань про природу і суспільство та у розвитку суспільства, техніки і технологій	+	+	+	+	+			+	
ПРН26. Знати основні сучасні фізичні теорії, що пов'язані з поясненням властивостей матеріалів; вміти застосовувати їх до пояснення властивостей неметалічних систем з різним функціональним призначенням	+	+	+	+		+			

## 7. Схема формування оцінки.

### 7.1 Форми оцінювання студентів:

Контроль здійснюється за модульно-рейтинговою системою. Вона складається з 3 модулів. Результати навчальної діяльності студентів оцінюється за 100-бальною шкалою.

**Форми поточного контролю:** оцінювання виконання домашніх та самостійних завдань, контрольних робіт. При виставленні балів за модульний контроль враховуються:

- уміння та навички розв'язування фізичних задач за кожною темою;
- ступінь активності студента під час розв'язку задач; якість виконання домашніх завдань;
- якість самостійної роботи студента при виконанні відповідних завдань для самостійної роботи та розробці проблемних тем.

Оцінювання знань провадиться за такою схемою:

### 7.2 Організація оцінювання:

#### Поточний –

##### Перший змістовний модуль

– Виконання домашніх завдань до практичних занять, робота на них, контрольна робота на практичних заняттях–

20 балів;

##### Другий змістовний модуль

– Участь у колоквіумах –

20 балів;

##### Третій змістовний модуль

– Виконання домашніх завдань до практичних занять, робота на них. Підсумкова контрольна робота –

20 балів.

#### Підсумковий контроль (іспит)

40 балів.

У випадку відсутності студента з поважних причин відпрацювання та перездачі МКР здійснюються у відповідності до «Положення про порядок оцінювання знань студентів при кредитно-модульній системі організації навчального процесу» від 1 жовтня 2010 року.

**Підсумкове оцінювання у формі екзамену<sup>3</sup>: (обов'язкове проведення екзаменаційного оцінювання в письмовій формі)**

	ЗМ1	ЗМ2	ЗМ3	екзамен	Підсумкова оцінка
<i>Мінімум</i>	<b>12</b>	<b>12</b>	<b>12</b>	<b>24</b>	<b>60</b>
<b>Максимум</b>	<b>20</b>	<b>20</b>	<b>20</b>	<b>40</b>	<b>100</b>

у випадку комплексного екзамену слід вказати питому вагу складових

Студент не допускається до екзамену, якщо під час семестру набрав менше 36 балів.<sup>4</sup>

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

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

*При цьому, кількість балів:*

- **1-34** відповідає оцінці «незадовільно» з обов'язковим повторним вивченням дисципліни;
- **35-59** відповідає оцінці «незадовільно» з можливістю повторного складання;
- **60-64** відповідає оцінці «задовільно» («достатньо»);
- **65-74** відповідає оцінці «задовільно»;
- **75 - 84** відповідає оцінці «добре»;
- **85 - 89** відповідає оцінці «добре» («дуже добре»);
- **90 - 100** відповідає оцінці «відмінно».

### 7.3 Шкала відповідності оцінок

За 100 – бальною шкалою	За національною шкалою	
90 – 100	5	відмінно
85 – 89	4	добре
75 – 84		
65 – 74	3	задовільно
60 – 64		
35 – 59	2	незадовільно
1 – 34		

## 8. СТРУКТУРА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

### ТЕМАТИЧНИЙ ПЛАН ЛЕКЦІЙ І ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ

№ лекції	Назва лекції	Кількість годин			
		лекції	практичні	самот. робота	інші форми

<sup>3</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**).

<sup>4</sup> У випадку, коли дисципліна завершується екзаменом не менше – **20 балів**, а рекомендований мінімум **не менше 36 балів**, оскільки якщо студент на екзамені набрав менше **24 балів** (а це 60% від 40 балів, відведених на екзамен), то вони **не додаються** до семестрової оцінки незалежно від кількості балів, отриманих під час семестру, а в екзаменаційній відомості у графі «результуюча оцінка» переноситься лише кількість балів, отриманих під час семестру.

					контр.
<b>Змістовий модуль 1</b>					
1.	<b>Лекція 1. Основні положення термодинаміки. Перший закон термодинаміки.</b> Вводяться визначення термодинамічної системи та термодинамічних величин. Дано визначення основних термодинамічних функцій стану – внутрішньої енергії. Колові процеси. <b>Семінар 1. Термодинамічні процеси. Перший закон термодинаміки</b> № задач 25-28, 30, 31 [7]  Завдання для самостійної роботи 1. Вивчення матеріалу лекції. 2. Згідно із загальним переліком завдань	2	2	5	
2.	<b>Лекція 2. Другий закон термодинаміки. Цикл Карно</b> Дано визначення ентропії. Загальне рівняння адіабати. Прямий та зворотний цикл Карно. Коефіцієнт корисної дії <b>Семінар 2. Другий закон термодинаміки</b> № задач 32, 34, 35 [7]  Завдання для самостійної роботи 1. Вивчення матеріалу лекції. 2. Згідно із загальним переліком завдань	4	2	5	
3.	<b>Лекція 3. Термодинамічні потенціали.</b> Означення вільної енергії, ентальпії, термодинамічного потенціалу Гіббса та обговорення їх фізичного змісту. Співвідношення Максвелла та їх застосування. <b>Семінар 3. Обчислення термодинамічних потенціалів.</b> № задач 137-141.  Завдання для самостійної роботи 1. Вивчення матеріалу лекції. 2. Згідно із загальним переліком завдань	2	2	5	
4.	<b>Лекція 4. Застосування законів термодинаміки. Абсолютна температура.</b> Застосування законів термодинаміки до опису колових процесів. Введення абсолютної температури. Термодинамічні цикли. Теплові машини – 2 год. <b>Семінар 4. Обчислення термодинамічних потенціалів</b>	4	2	5	



	<p><b>одноатомного ідеального газу</b> № задач 145, 154-156, 158-159 [7]</p> <p>Завдання для самостійної роботи 1. Вивчення матеріалу лекції. 2. Згідно із загальним переліком завдань</p>				
5.	<p><b>Лекція 5. Умови термодинамічної рівноваги. Третій закон термодинаміки.</b> Застосування законів термодинаміки до дослідження рівноважних станів системи. Обговорення умов термодинамічної рівноваги. Теорема Нернста. <b>Семінар 5. Термодинамічні цикли. Теплові машини.</b> № задач 123, 124, 128-130 [7], 1.14 [1], 1.65, 1.66, 1.67</p> <p>Завдання для самостійної роботи 1. Вивчення матеріалу лекції. 2. Згідно із загальним переліком завдань</p>	2	2	5	
6.	<p><b>Лекція 6. Основи молекулярно-кінетичної теорії. Розподіли Максвелла та Больцмана</b> Основні властивості молекул. Число зіткнень молекул зі стінкою. Основне рівняння молекулярно-кінетичної теорії. Молекулярно-кінетичне трактування абсолютної температури. Виведення розподілів Максвелла та Больцмана. Застосування статистичних розподілів у молекулярній фізиці <b>Семінар 6. Молекулярно-кінетична теорія</b> № задач 67, 68, 77, 89, 92, 94, 65 [7] Виведення розподілів Максвелла та Больцмана. Застосування статистичних розподілів у молекулярній фізиці.</p> <p>Завдання для самостійної роботи 1. Вивчення матеріалу лекції. 2. Згідно із загальним переліком завдань</p>	4	2	5	
7.	<p><b>Лекція 7. Розподіл Гіббса. Застосування розподілу Гіббса для обчислення флуктуацій</b> Виведення розподілу Максвелла. Застосування розподілу для обчислення флуктуацій. <b>Семінар 7. Розподіл Максвелла-Больцмана та Гіббса</b> № задач 99, 103, 105, 110-112 [7]</p> <p>Завдання для самостійної роботи</p>	4	2	5	

	1. Вивчення матеріалу лекції. 2. Згідно із загальним переліком завдань				
Оцінка за семінарські заняття					
Оцінка за лабораторні роботи					
<b>Змістовий модуль 2</b>					
8.	<b>Лекція 8. Молекулярно-кінетичний зміст внутрішньої енергії. Теплоємність. Теплоємність ідеального газу</b> Молекулярно-кінетичне трактування внутрішньої енергії. Теорема про рівнорозподіл внутрішньої енергії ідеального газу по ступенях вільності та границі її застосування. <b>Семінар 8. Розподіл Гіббса</b> № задач 69-76 [7]  Завдання для самостійної роботи 1. Вивчення матеріалу лекції. 2. Згідно із загальним переліком завдань	3	2	5	
9.	<b>Лекція 9. Молекулярно-кінетичний зміст ентропії. Флуктуації. Броунівський рух.</b> Формула Больцмана та умови її застосування. Флуктуації термодинамічних величин та їх прояв у броунівському русі. Фрактальні властивості траєкторії броунівської частинки. <b>Семінар 9. Розподіл Гіббса.</b> № задач 77-80 [7]  Завдання для самостійної роботи 1. Вивчення матеріалу лекції. 2. Згідно із загальним переліком завдань	2	2	5	
10.	<b>Лекція 10. Ентропія полімерного ланцюга. Закон Гука</b> <b>Семінар 10. Розподіл Гіббса.</b> № задач 81-83 [7]  Завдання для самостійної роботи 1. Вивчення матеріалу лекції. 2. Згідно із загальним переліком завдань	2	2	5	
11.	<b>Лекція 11. Реальні гази та їх скраплення. Рівняння Ван-дер-Ваальса</b> Рівняння стану реальних газів. Віріальне рівняння стану. Віріальні коефіцієнти та їх зв'язок з міжмолекулярним потенціалом. Аналіз рівняння Ван-дер-Ваальса. <b>Семінар 11. Властивості реальних газів</b>	2	2	6	

	№ задач 22-24,57-59, 62-65, 147, 148, 161 [7]  Завдання для самостійної роботи 1. Вивчення матеріалу лекції. 2. Згідно із загальним переліком завдань				
12.	<b>Лекція 12.Критичні явища. Фізика фазових переходів . Молекулярна фізика рідин</b> Критична точка в теорії Ван-дер-Ваальса. Закон відповідних станів.флуктуації в околі критичної точки. Критична опалесценція. Критичні індекси. Фазові переходи першого роду. Рівняння Клапейрона-Клаузіуса. Метастабільні стани. Кінетика фазових перетворень. Неперервні фазові переходи. <b>Семінар 12. Флуктуації</b> № задач 164-170 [7] <b>Семінар 13. Контрольна робота – 2 год.</b>  Завдання для самостійної роботи 1. Вивчення матеріалу лекції. 2. Згідно із загальним переліком завдань	2	2	5	
Колоквіум					
<b>Змістовий модуль 3</b>					
13.	<b>Лекція 13. Поверхневий натяг. Явища змочування. Рівняння Юнга-Лапласа. Капілярність. Поверхнево-активні речовини.</b> <b>Семінар 14. Рідини. Капілярні явища</b> № задач 172, 173, 177, 180, 182, 185, 187, 189-197 [7]  Завдання для самостійної роботи 1. Вивчення матеріалу лекції. 2. Згідно із загальним переліком завдань	2	2	6	
14.	<b>Лекція 14. Молекулярна фізика твердих тіл</b> Кристалічні системи. Термодинамічні властивості кристалів. Закон Дюлонга-Пті. <b>Семінар 15. Кристали. Теплоємність твердих тіл</b> № задач 201-208, 210-213 [7] <b>Семінар 16. Фазові перетворення</b> № задач 198, 201, 203, 212, 214, 220, 222 [7]  Завдання для самостійної роботи	2	3	5	

	1. Вивчення матеріалу лекції. 2. Згідно із загальним переліком завдань				
15.	<b>Лекція 15. Нерівноважні процеси. Основи термодинаміки нерівноважних процесів</b> Термодинамічні потоки і сили. Стационарні стани. Виробництво ентропії. Зв'язок між термодинамічними потоками однакової тензорної розмірності. <b>Семінар 16. Явища переносу</b> № задач 241, 243, 245, 249 [7]  Завдання для самостійної роботи 1. Вивчення матеріалу лекції. 2. Згідно із загальним переліком завдань	2	2	5	
16.	<b>Лекція 16. Явища переносу в газах</b> Середня довжина вільного пробігу. Молекулярно-кінетичний зміст коефіцієнтів дифузії, теплопровідності і в'язкості. <b>Семінар 17. Явища переносу в газах</b> № задач 250-252, 255, 269 [7] <b>Семінар 18. Підсумкове заняття</b>  Завдання для самостійної роботи 1. Вивчення матеріалу лекції. <b>2. Згідно із загальним переліком завдань</b>	2	4	6	
Фінальна контрольна робота					
17.	<b>Лекція 17. Властивості рідкого гелію. Молекулярна фізика полімерів. Післямова.</b> Надплинність рідкого гелію. Фазові переходи в рідкому гелію. Фрактальні властивості полімерів. <b>Семінар 19. Підготовка до фінальної контрольної роботи</b> <b>Семінар 20. Контрольна робота</b>  Завдання для самостійної роботи 1. Вивчення матеріалу лекції. <b>2. Згідно із загальним переліком завдань</b>	3	2	6	
	<b>ВСЬОГО</b>	44	44	89	

Загальний обсяг 180 год.<sup>5</sup>, в тому числі:

Лекцій – 44 год.

Семінари – 0 год.

Практичні заняття – 46 год.

Тренінги – 0 год.

<sup>5</sup> Загальна кількість годин, відведених на дану дисципліну згідно навчального плану.

### **Контрольні запитання та завдання. Змістовий модуль 1**

- 1) Властивості ідеального газу. Рівняння Менделєєва-Клапейрона. Ізопроееси.
- 2) Термодинамічні системи та їх стани. Термодинамічні процеси. Адіабатний процес. Рівняння адіабати. Політропний процес. Рівняння політропи.
- 3) Робота в термодинамічних процесах. Кількість теплоти. Внутрішня енергія термодинамічної системи. Перший закон термодинаміки.
- 4) Другий закон термодинаміки. Ентропія. Зміна ентропії при ізотермічному та ізохоричному процесах в ідеальному газі. Формула Больцмана
- 5) Властивості ідеального газу. Рівняння Менделєєва-Клапейрона. Ізопроееси.
- 6) Термодинамічні системи та їх стани. Термодинамічні процеси. Адіабатний процес. Рівняння адіабати. Політропний процес. Рівняння політропи.
- 7) Робота в термодинамічних процесах. Кількість теплоти. Внутрішня енергія термодинамічної системи. Перший закон термодинаміки.
- 8) Другий закон термодинаміки. Ентропія. Зміна ентропії при ізотермічному та ізохоричному процесах в ідеальному газі. Формула Больцмана.
- 9) Колові процеси. Цикл Карно. Теплові машини. Коефіцієнт корисної дії теплових машин. Холодильники, теплові насоси та їх ефективність. Перша теорема Карно. Термодинамічна шкала температур.
- 10) Друга теорема Карно. Нерівність Клаузіуса. Зміна ентропії в ізольованих термодинамічних системах. Вільна енергія термодинамічної системи.
- 11) Термодинамічні потенціали. Незалежні параметри стану термодинамічної системи та їх кількість. Співвідношення Максвелла.
- 12) Критерії стійкості станів термодинамічних систем. Напрямок необоротних термодинамічних процесів в ізольованих термодинамічних системах. Теорема Нернста (третій принцип термодинаміки).

### **Завдання для самостійної роботи. Змістовий модуль 1**

- 1) Отримати рівняння політропічного процесу для ідеального газу. Рівняння адіабати для ідеального газу.
- 2) Перевірка теореми Карно для ідеального газу.
- 3) Виконати перетворення Лежандра від вільної енергії Гельмгольца до інших термодинамічних потенціалів.

### **Контрольні запитання та завдання. Змістовий модуль 2**

- 1) Розподіл Гіббса. Обчислення середніх значень фізичних величин. Статистична сума. Виведення розподілу Максвелла із використанням розподілу Гіббса.
- 2) Виведення розподілу Больцмана із використанням розподілу Гіббса. Теорема про рівнорозподіл енергій по ступенях вільності молекул.
- 3) Основні експериментальні дані про теплоємності розрідженого газу. Межі застосування про рівнорозподіл енергій по ступенях вільності. Залежність теплоємності від температури.
- 4) Флуктуації. Флуктуації в ідеальному газі. Межі чутливості вимірювальних приладів.
- 5) Явища переносу в газах. Кінематичні параметри молекулярного руху. Довжина вільного пробігу. Поперечний переріз молекулярних зіткнень. Моделі твердих сфер та Сезерленда. Теплопровідність, внутрішнє тертя та дифузія в газах.

- 6) Розподіл молекул ідеального газу за швидкостями та кінетичними енергіями. Розподіл Максвелла. Дослід Штерна.
- 7) Розріджений газ в зовнішньому потенціальному полі. Розподіл Больцмана. Абсолютна температура як параметр розподілу Максвелла-Больцмана. Досліди Перрена по визначенню числа Авогадро.
- 8) Розподіл Гіббса. Обчислення середніх значень фізичних величин. Статистична сума. Виведення розподілу Максвелла із використанням розподілу Гіббса.
- 9) Виведення розподілу Больцмана із використанням розподілу Гіббса. Теорема про рівнорозподіл енергій по ступенях вільності молекул.
- 10) Розподіл молекул ідеального газу за швидкостями та кінетичними енергіями. Розподіл Максвелла. Дослід Штерна.
- 11) Розріджений газ в зовнішньому потенціальному полі. Розподіл Больцмана. Абсолютна температура як параметр розподілу Максвелла-Больцмана. Досліди Перрена по визначенню числа Авогадро.
- 12) Основні експериментальні дані про теплоємності розрідженого газу. Межі застосування про рівнорозподіл енергій по ступенях вільності. Залежність теплоємності від температури.

### **Завдання для самостійної роботи. Змістовий модуль 2**

- 1) Вивести теорему Реша.
- 2) Обчислити середню швидкість молекул газу. Обчислити середню довжину хвилі де-Бройля. Знайти середньоквадратичну флуктуацію швидкості в газі.
- 3) Використовуючи основні положення молекулярно-кінетичної теорії, вивести закон Стефана-Больцмана.
- 4) Обчислити середньоквадратичну флуктуацію внутрішньої енергії для замкненої системи в контакт з термостатом.

### **Контрольні запитання та завдання. Змістовий модуль 3**

- 1) Принцип локальної рівноваги. Пересічні явища переносу. Термодифузія. Елементи термодинаміки незворотних процесів.
- 2) Реальні гази. Рівняння стану реальних газів та їх аналіз. Критичний стан. Здатність реального газу до скраплення. Рівняння Камерлінг-Оннеса.
- 3) Внутрішня енергія Ван-дер-Ваальсового газу. Явище Джоуля-Томпсона. Зрідження газів. Сучасні методи одержання низьких температур. Розповсюдження звуку у газах. Моделі потенціалів сил міжмолекулярної взаємодії.
- 4) Поділ кристалів за типами міжчастинкової взаємодії. Гармонічна модель кристалу. Теорії теплоємності кристалів (Дюлонг-Пті, Ейнштейн, Дебай).
- 5) Кристалічний та аморфний стан речовини. Елементи симетрії кристалів. Решітка Браве. Кристалічні класи та сингонії.
- 6) Ангармонічна модель кристалу. Точкові дефекти. Дифузія в кристалах. Дислокації. Теплопровідність твердих тіл. Поняття про будову та властивості полімерів. Розтягнення полімерного ланцюга.
- 7) Рідкий стан речовини. Сучасні уявлення про будову рідин. Поверхневий натяг в рідинах. Термодинаміка поверхневого натягу. Поверхнево-активні речовини.
- 8) Явища на контакті рідини з різними тілами. Адсорбція. Змочувальність. Тиск під вигнутою поверхнею рідини. Формула Лапласа. Капілярність. Рідкі кристали.
- 9) Фазові перетворення. Фазові перетворення першого роду в індивідуальних речовинах. Умови фазової рівноваги. Рівняння Клапейрона-Клаузіуса. Діаграми станів чистих речовин.
- 10) Діаграма станів та фізичні властивості ізотопів гелія.
- 11) Суміші та розчини. Концентрація розчинів. Механізм розчинення. Пружність насиченої пари над ідеальним розчином. Закони Рауля та Генрі. Температура кипіння розчинів.

Розчинність речовин. Залежності розчинності від температури та тиску. Осмотичні явища.

- 12) Діаграми випаровування, кристалізації, возгонки та змішування двохкомпонентних систем. Правило фаз Гіббса. Діаграми станів бінарних сумішей. Азеотропні суміші. Евтектичні суміші.

### **Завдання для самостійної роботи. Змістовий модуль 3**

- 1) Ефект Джоуля-Томпсона в реальних газах.
- 2) Вивести закон відповідних станів для рівняння Дітерічі.
- 3) Обчислити критичні індекси в теорії Ван-дер-Ваальса.
- 4) Отримати рівняння Юнга-Лапласа з термодинамічних міркувань.
- 5) Отримати рівняння адіабати для твердого тіла.
- 6) Дефекти кристалічних ґраток. Точкові дефекти. дислокації.
- 7) Рідкі кристали.
- 8) Рівняння балансу ентропії.
- 9) Критичні явища змішування в бінарних розчинах. Подвійна критична точка.
- 10) Поняття про фрактали. Фрактальна структура полімерів.

### **Проблемні теми для обговорення**

1. Сучасний стан проблем теплових насосів.
2. Проблема універсальності критичних явищ.
3. Зв'язок термодинамічної ентропії з інформацією.

### **Завдання модульної контрольної роботи**

1. В об'ємі  $V = 1 \text{ м}^3$  знаходилось 2 кг йоду  $I_2$ . При температурі  $T = 1000 \text{ К}$  ступінь термічної дисоціації  $\alpha$  молекул йоду дорівнює 0,28. Знайти тиск парів йоду в посудині при даній температурі. Пари йоду вважати ідеальним газом. Примітка: ступеню дисоціації  $\alpha$  називають відношення числа його молекул, які розпалися на атоми  $N_d$ , до загального числа молекул  $N$ :  $\alpha = \frac{N_d}{N}$ .
2. Досліди показали, що існує певна речовина, в якій внутрішня енергія залежить лише від температури, а термічне рівняння стану має вигляд  $p = f(T)g(V)$ , де  $f(T)$  та  $g(V)$  – додатні функції температури та об'єму, причому  $\frac{df}{dT} > 0$ . Дослідити поведінку такої речовини у випадку ізотермічного контакту з пустотою.
3. На яку висоту над рівнем моря необхідно піднятися, щоб атмосферний тиск змінився на 1 мм ртутного стовпчика. Температуру вважати сталою і рівною 310К.

## **9. РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА<sup>6</sup>:**

### **Основна**

1. Л.А. Булавін, Д.А. Гаврюшенко, В.М. Сисоєв. Молекулярна фізика, Київ: «Знання», 2007.
2. I. Prigogine. Modern Thermodynamics: From Heat Engines to Dissipative Structures. Wiley & Sons, Incorporated, 2014
3. M. Rakowszczyk Elegy for Thermodynamics: A Novel Paperback. IndPublished, 2021.

---

<sup>6</sup> В тому числі Інтернет ресурси

4. K. Sharp. Entropy and the Tao of Counting: A Brief Introduction to Statistical Mechanics and the Second Law of Thermodynamics. Springer, 2019.
5. М.М. Клим, П.М. Якібчук, Молекулярна фізика, Львів, 2003 р.
6. Л.А. Булавін, В.М. Сисоєв. Фізика фазових переходів. Київ: ВПЦ Київський університет, 2010.
7. Ю.І. Шиманський. Термодинамічна теорія критичних явищ рідина-пара. Київ, видавництво КУ, 1998.
8. Arieh Ben-Naim, Diego Casadei. Modern Thermodynamics, WSPC, 2016.
9. Daniel V. Schroeder. An Introduction to Thermal Physics, Oxford University Press, 2021.
10. A.N. Matveev. Molecular Physics. Imported Publication, 1986.
11. I.E. Irodov Problems in General Physics. Mir publisher, 2011.

#### *Додаткова*

1. E. Fermi. Thermodynamics. Dead Authors Society, 2020
2. C. Kleinstreuer. Essentials of Engineering Thermodynamics, McGraw Hill, 2021.
3. Л.А. Булавін. Критичні властивості рідин, Київ, ТОВ, «АСМІ», 2002 р.
4. I.P. Bazarov. Thermodynamics. A Pergamon press book, 1966.
5. M. V. Volkenstein, Molecular Biophysics. Academic Press, 2012.
6. І.І.Адаменко, Д.А.Гаврюшенко, В.М.Сисоєв. Статистична термодинаміка рідин. Ч. I. Основні положення статистичної термодинаміки рідких систем. Київ РВЦ «Київський університет»б 1998.
7. Ю.І. Шиманський. Термодинамічна теорія: критичних явищ рідина-пара. Київ. РВЦ «Київський університет», 1998.
8. Wolfram Demonstrations Project FLUID MECHANICS:  
<https://demonstrations.wolfram.com/topic.html?topic=Fluid+Mechanics&limit=20>
9. Wolfram Demonstrations Project THERMODYNAMICS:  
<https://demonstrations.wolfram.com/topic.html?topic=Thermodynamics&limit=20>
10. Wolfram Demonstrations Project: CHEMICAL KINETICS:  
<https://demonstrations.wolfram.com/topic.html?topic=Chemical+Kinetics&limit=20>