

Міністерство освіти і науки України

Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна

Кафедра фізики ядра та високих енергій імені О.І. Ахієзера

“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Директор навчально-наукового інституту

«Фізико-технічний факультет»

(вказати назву структурного підрозділу)

Кузнецов П.Е.

(вказати П.І.б. керівника)

“ 21 ” жовтня 2023 р.



## РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

### Теоретична фізика (Термодинаміка і статистична фізика)

(назва навчальної дисципліни)

рівень вищої освіти	1 рівень (бакалаврський)
галузь знань	10 «Природничі науки»
спеціальність	105 «Прикладна фізика та наноматеріали»
освітня програма спеціалізація	Прикладна фізика
вид дисципліни	обов'язкова
факультет	ННІ «Фізико-технічний факультет»

2023/2024 навчальний рік

Програму рекомендовано до затвердження Вченою радою Навчально наукового інституту «Фізико-технічний факультет»

“25” серпня 2023 року, протокол № 8

**РОЗРОБНИКИ ПРОГРАМИ:** (вказати авторів, їхні наукові ступені, вчені звання та посади)  
**Сотніков Андрій Геннадійович** доктор фізико-математичних наук, старший науковий співробітник, професор кафедри фізики ядра та високих енергій імені О. І. Ахієзера

Програму схвалено на засіданні кафедри фізики ядра та високих енергій імені О.І. Ахієзера  
Протокол від “16” червня 2023 року № 10

Завідувач кафедри фізики ядра та високих енергій імені О.І. Ахієзера

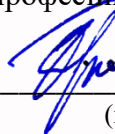


\_\_\_\_\_ (підпис)

Микола ШУЛЬГА  
(прізвище та ініціали)

Програму погоджено з гарантом освітньо-професійної програми Прикладна фізика  
(назва освітньої програми)

Гарант освітньої (професійної) програми



\_\_\_\_\_ (підпис)

Ігор ГІРКА  
(прізвище та ініціали)

Програму погоджено науково-методичною комісією ННІ «Фізико-технічний факультет»  
(назва факультету, для здобувачів вищої освіти якого викладається навчальна дисципліна)

Протокол від “14” серпня 2023 року № 11

Голова науково-методичної комісії ННІ «Фізико-технічний факультет»



\_\_\_\_\_ (підпис)

Микола ЮНАКОВ  
(прізвище та ініціали)

## ВСТУП

Програму навчальної дисципліни “Термодинаміка та статистична фізика” складено відповідно до освітньо-професійної програми підготовки першого рівня вищої освіти (бакалавр). Галузь знань: 10 – “Природничі науки”. Спеціальність: 105 – “Прикладна фізика та наноматеріали”. Освітня програма: «Прикладна фізика», «Медична фізика», «Біомедичні нанотехнології». При розробці Програми враховані вимоги Стандарту вищої освіти першого (бакалаврського) рівня, галузі знань 10 – «Природничі науки», спеціальності 105 – «Прикладна фізика та наноматеріали», затвердженого наказом МОН України № 804 від 16.06.2020 р.

## 1. ОПИС НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

### 1.1. Мета викладання навчальної дисципліни

Термодинаміка та статистична фізика є базовою складовою курсу теоретичної фізики, який був створений лауреатом Нобілевської премії академіком Л.Д. Ландау та відіграє надважливу роль у підготовці фахівців з сучасної фізики. Засвоєння основних положень, методів, за допомогою яких описуються властивості багаточастинкових термодинамічних систем з точки зору макроскопічного підходу, який застосовується в термодинаміці, та мікроскопічного підходу, який застосовується в класичній та квантовій статистичній фізиці дозволить адекватно описувати численні фізичні явища та отримувати нові знання про навколишній всесвіт.

### 1.2. Основні завдання вивчення дисципліни:

- підготувати фахівця з сучасної фізики, спроможного розв’язувати різноманітні задачі, пов’язані з термодинамікою та статистичною фізикою;
- навчити застосовувати основні закони термодинаміки для опису властивостей різних термодинамічних систем;
- дати основи класичної та квантової статистичної фізики, ансамблі та розподіли Гіббса, застосування методів статистичної фізики для опису властивостей різних класичних та квантових термодинамічних систем.

Загальні компетентності, які мають бути засвоєні внаслідок вивчення теоретична фізика (термодинаміка і статична фізика):

- Здатність до проведення досліджень на відповідному рівні. **(ЗК-6)**
- Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел. **(ЗК-7)**
- Здатність працювати автономно. **(ЗК-9)**

Фахові компетентності, які мають бути засвоєні внаслідок вивчення теоретична фізика (термодинаміка і статична фізика):

- Здатність брати участь у плануванні та виконанні наукових та науково-технічних проектів. **(СК-1)**
- Здатність брати участь у плануванні і виконанні експериментів та лабораторних досліджень властивостей фізичних систем, фізичних явищ і процесів, обробленні й презентації їхніх результатів. **(СК-2)**
- Здатність до постійного розвитку компетентностей у сфері прикладної фізики, інженерії та комп’ютерних технологій. **(СК-5)**

- Здатність використовувати сучасні теоретичні уявлення в галузі фізики для аналізу фізичних систем. (СК-6)
- Здатність використовувати методи і засоби теоретичного дослідження та математичного моделювання в професійній діяльності. (СК-7)
- Здатність працювати із науковим обладнанням та вимірювальними приладами, обробляти та аналізувати результати досліджень (СК-9);
- Здатність виконувати обчислювальні експерименти, використовувати чисельні методи для розв'язування фізичних задач і моделювання фізичних систем (СК-10);

1.3. Кількість кредитів 9.

1.4. Загальна кількість годин 270.

1.5. Характеристика навчальної дисципліни Термодинаміка і статистична фізика	
Обов'язкова	
Денна форма навчання	
Рік підготовки	
4-й	
Семестр	
7-й	8-й
Лекції	
32 год.	56 год.
Практичні, семінарські заняття	
32 год.	28 год.
Лабораторні заняття	
-	-
Самостійна робота,	
96 год.	26 год.
у тому числі індивідуальні завдання	
3	4

1.6. Заплановані результати навчання

полягають у тому, що внаслідок опанування курсу термодинаміки та статистичної фізики студенти мають засвоїти теоретичні основи цієї дисципліни; основні методи розв'язання задач, які виникають при опису властивостей і явищ у класичних та квантових термодинамічних системах з використанням основних методів диференційного та інтегрального числення, вищої алгебри, теорії ймовірності та методів інших розділів теоретичної фізики.

Згідно з освітньо-професійною програмою «Прикладна фізика» спеціальність 105 – «прикладна фізика та наноматеріали» студенти мають досягти таких результатів навчання:

- Знати і розуміти сучасну фізику на рівні, достатньому для розв'язання складних спеціалізованих задач і практичних проблем прикладної фізики. (Зн-1)
- Знати цілі сталого розвитку та можливості своєї професійної сфери для їх досягнення, в тому числі в Україні. (Зн-2)
- Розуміти закономірності розвитку прикладної фізики, її місце в розвитку техніки, технологій і суспільства, у тому числі в розв'язанні екологічних проблем. (Зн-3)
- Знати, розуміти та вміти застосовувати основні положення загальної та теоретичної фізики, зокрема, класичної, релятивістської та квантової механіки, механіки суцільних середовищ, молекулярної фізики та термодинаміки, електромагнетизму, хвильової та геометричної 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 теоретичної та прикладної фізики. (Зн-4);

- Знати і розуміти експериментальні основи фізики: аналізувати, описувати, тлумачити та пояснювати основні експериментальні підтвердження існуючих фізичних теорій. (Зн-5)
- Застосовувати сучасні математичні методи для побудови й аналізу математичних моделей фізичних процесів. (Ум-1)
- Застосовувати фізичні, математичні та комп'ютерні моделі для дослідження фізичних явищ, розробки приладів і наукоємних технологій. (Ум-3)
- Вибирати ефективні методи та інструментальні засоби проведення досліджень у галузі прикладної фізики. (Ум-4)
- Відшуковувати необхідну науково-технічну інформацію в науковій літературі, електронних базах, інших джерелах, оцінювати надійність та релевантність інформації. (Ум-5)
- Класифікувати, аналізувати та інтерпретувати науково-технічну інформацію в галузі прикладної фізики. (Ум-6)
- Мати базові навички проведення теоретичних та/або експериментальних наукових досліджень з окремих спеціальних розділів фізики, що виконуються індивідуально (автономно) та/або у складі наукової групи. (АіВ-1).

## 2. ТЕМАТИЧНИЙ ПЛАН НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ 7 семестр

### РОЗДІЛ 1. Основні закони термодинаміки.

- Тема 1.** Становлення термодинаміки та статистичної фізики. Термодинамічні системи. Стан термодинамічної рівноваги. Внутрішні та зовнішні параметри.
- Тема 2.** Умовна температура (нульовий початок термодинаміки). Умовна ентропія. Перший початок термодинаміки. Теплоємність. Основні термодинамічні процеси.
- Тема 3.** Абсолютна температура та абсолютна ентропія ідеального газу. Адіабатичний потенціал (внутрішня енергія). Ізотермічний потенціал (вільна енергія Гельмгольца).
- Тема 4.** Другий початок термодинаміки. Введення абсолютної температури та абсолютної ентропії на основі постулату Каратеодорі. Кругові процеси. Цикл Карно. Принцип Нерста (Третій початок термодинаміки) .
- Тема 5.** . Метод термодинамічних потенціалів. Перетворення Лежандра. Рівняння Максвелла. Ентальпія. Потенціал Гіббса.
- Тема 6.** Рівняння Ван-дер-Ваальса. Критична точка. Закон відповідних станів. Процеси Гей-Люссака та Джоуля-Томпсона. Охолодження газів.

### РОЗДІЛ 2. Термодинамічні системи зі змінною кількістю речовини.

- Тема 7.** Система зі змінною кількістю речовини. Великий термодинамічний потенціал Гіббса. Хімічний потенціал. Теорема Гіббса-Дюгема.
- Тема 8.** Зростання ентропії у процесах вирівнювання. Другий початок термодинаміки для незворотних процесів. Парадокс Гіббса.
- Тема 9.** Екстремальні властивості термодинамічних функцій. Умова рівноваги й стійкості термодинамічних систем. Основні термодинамічні нерівності.
- Тема 10.** Рівновага фаз. Фазові перетворення першого роду. Рівновага трьох фаз. Метастабільні стани. Фазові перетворення другого роду. Термодинаміка надпровідників.
- Тема 11.** Багатокомпонентні системи. Правила фаз Гіббса. Хімічна рівновага в однорідній системі. Закон діючих мас.

## 8 семестр

**РОЗДІЛ 3** Класична статистична фізика.

- Тема 12.** Фазовий простір. Ансамблі Гіббса. Теорема Ліувілля. Функція розподілу. Рівняння Ліувілля.
- Тема 13.** Основні постулати класичної статистичної механіки. Гіпотеза про рівну апріорну ймовірність. Єргодична гіпотеза.
- Тема 14.** Мікроканонічний ансамбль та розподіл Гіббса. Статистична вага та ентропія.
- Тема 15.** Канонічний ансамбль Гіббса. Канонічний розподіл. Статистичний інтеграл та термодинамічні функції канонічного розподілу. Перша та друга леми Гіббса. Розподіл Максвелла. Закон рівного розподілу кінетичної енергії та теорема віріалу.
- Тема 16.** Великий канонічний ансамбль та розподіл Гіббса. Велика статистична сума та термодинамічні функції. Еквівалентність ансамблів Гіббса.
- Тема 17.** Ентропія – міра невпорядкованості. Умовна ентропія. Інформація. Теорема Гіббса. Зростання ентропії в процесі еволюції.
- Тема 18.** Неідеальні гази. Модельні потенціали. Групове розложення Майєра. Термодинаміка плазми.

**РОЗДІЛ 4.** Квантова статистична фізика

- Тема 19.** Постулати квантової статистичної фізики. Чисті та змішані стани. Статистичний оператор (матриця густини) та його властивості. Рівняння Ландау - фон-Неймана. Квантові ансамблі Гіббса.
- Тема 20.** Рівняння Блоха. Спінова матриця густини, парамагнетизм Паулі.
- Тема 21.** Квантові гази. Розподіли Фермі – Дірака, Бозе - Ейнштейна.
- Тема 22.** Термодинамічні властивості вироджених фермі- та бозе- газів. Діамагнетизм Ландау. Бозе – Ейнштейнівська конденсація.
- Тема 23.** Чорне випромінення. Формула Планка. Термодинамічні характеристики рівноважного випромінення.
- Тема 24.** Статистична фізика твердого тіла. Акустичні та оптичні фонони. Модель Ейнштейна. Інтерполяційна формула Дебая. Рівняння стану твердого тіла. Теплове розширення.
- Тема 25.** Теорія флуктуацій. Розподіл Гаусса для однієї та декількох термодинамічних величин. Флуктуації основних термодинамічних величин. Флуктуації в ідеальному газі. Флуктуації у розчинах. Корреляція флуктуацій. Флуктуаційно-дисипативна теорема. Принцип мінімуму виробництва ентропії – принцип Пригожина.

**3. Структура навчальної дисципліни**

Назви модулів і тем	Кількість годин					
	Денна форма					
	Усього	У тому числі				
лек		пр	л	інд	ср	
1	2	3	4	5	6	7
<b>РОЗДІЛ 1.</b>						
<b>Тема 1.</b> Термодинамічні системи	4	2	0			2
<b>Тема 2.</b> Перший початок термодинаміки. Теплоємність.	14	4	6			5
<b>Тема 3.</b> Адіабатичний та ізотермічний потенціали.	8	2	2			4
<b>Тема 4.</b> Другий початок термодинаміки. Кругові процеси. Цикл Карно. Принцип Нерста .	19	4	4			8
<b>Тема 5.</b> Метод термодинамічних потенціалів.	8	2	2			5

Ентальпія. Потенціал Гіббса.						
<b>Тема 6.</b> Рівняння Ван-дер-Ваальса. Критична точка. Закон відповідних станів.	15	4	4			8
Разом за розділом 1	64	16	16			32
<b>РОЗДІЛ 2</b>						
<b>Тема 7.</b> Великий термодинамічний потенціал Гібса. Хімічний потенціал.	7	2	2			3
<b>Тема 8.</b> Зростання ентропії у процесах вирівнювання.	14	4	4			6
<b>Тема 9.</b> Екстремальні властивості термодинамічних функцій. Умова рівноваги й стійкості термодинамічних систем.	12	3	4			5
<b>Тема 10.</b> Фазові перетворення першого роду. Фазові перетворення другого роду.	14	4	4			6
<b>Тема 11.</b> Багатокомпонентні системи.	9	3	2			4
Разом за розділом 2	56	16	16			24

<b>РОЗДІЛ 3</b>						
<b>Тема 12.</b> Фазовий простір. Ансамблі Гіббса. Теорема Ліувілля. Функція розподілу. Рівняння Ліувілля. Єргодична гіпотеза.	9	4	2			3
<b>Тема 13.</b> Основні постулати класичної статистичної механіки. Гіпотеза про рівну апіорну ймовірність.	4	2				2
<b>Тема 14.</b> Мікроканонічний ансамбль та розподіл Гіббса. Статистична вага та ентропія.	11	4	2			5
<b>Тема 15.</b> Канонічний ансамбль Гіббса. Канонічний розподіл. Статистичний інтеграл та термодинамічні функції канонічного розподілу.	14	6	3			5
<b>Тема 16.</b> Великий канонічний ансамбль та розподіл Гіббса. Велика статистична сума та термодинамічні функції. Еквівалентність ансамблів Гіббса.	12	4	3			5
<b>Тема 17.</b> Ентропія–міра неупорядкованості. Умовна ентропія. Інформація. Теорема Гіббса. Зростання ентропії в процесі еволюції.	10	4	2			4
<b>Тема 18.</b> Неідеальні гази. Модельні потенціали. Групове розложення Майєра. Термодинаміка плазми.	10	4	2			4
Разом за розділом 3	70	28	14			28
<b>РОЗДІЛ 4</b>						
<b>Тема 19.</b> Постулати квантової статистичної фізики. Статистичний оператор (матриця густини) та його властивості. Рівняння Ландау - фон-Неймана.	16	4	2			6
<b>Тема 20.</b> Рівняння Блоха. Спінова матриця густини, парамагнетизм Паулі.	8	2	2			4
<b>Тема 21.</b> Квантові гази. Розподіли Фермі – Дірака, Бозе - Ейнштейна.	16	5	2			6

<b>Тема 22.</b> Термодинамічні властивості вироджених фермі- та бозе- газів. Діамагнетизм Ландау. Бозе – Ейнштейнівська конденсація.	20	5	4			6
<b>Тема 23.</b> Чорне випромінення. Формула Планка. Термодинамічні характеристики рівноважного випромінення.	12	4	2			4
<b>Тема 24.</b> Статистична фізика твердого тіла. Акустичні та оптичні фонони. Модель Ейнштейна.	16	4	2			6
<b>Тема 25.</b> Теорія флуктуацій.	16	4	2			6
Разом за розділом 4	80	28	14			38
<b>Усього годин</b>	270	88	60			122

#### 4. Теми практичних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Якобиани та інтегруючий множник	2
2	Робота в квазістатичній термодинаміці	1
3	Рівняння адіабати та політропи	2
4	. Теплоємність.	2
5	Обчислення роботи та тепла для різних термодинамічних процесів.	2
6	ККД теплових машин.	2
7	Термодинамічні коефіцієнти.	2
8	Термодинамічні потенціали.	4
9	Критичні параметри.	2
10	Термодинаміка діелектриків.	2
11	Термодинаміка магнетиків.	2
12	Термодинамічні системи зі змінною кількістю речовини.	3
13	Умови рівноваги та стійкості.	2
14	Контрольна робота	2
15	Спінова модель побудови статистичної теорії макроскопічних систем	6
16	Інтеграл, які зустрічаються у статистичній фізиці. Об'єм N-вимірної кулі та шару	2
17	Мікроканонічний розподіл Гіббса	4
18	Канонічний розподіл Гіббса	5
19	Розподіл Максвелла, Максвелла - Больцмана	4
20	Квантовий газ фермі частинок	7
21	Квантовий газ бозе частинок	4
22	Парастатистика	2
23	Кореляція основних фізичних величин	2
24	Контрольна робота	2

Разом 64 години



## 5. Завдання для самостійної роботи

№ з/п	Назва теми	Кількість Годин
1	Термодинамічні системи. Початки термодинаміки.	4
2	Термодинамічні потенціали	10
3	Рівняння Ван-дер-Ваальса. Критична точка. Закон відповідних станів.	6
4	Термодинамічні системи зі змінною кількістю речовини	10
5	Умова рівноваги й стійкості термодинамічних систем.	8
6	Фазові перетворення	8
7	Багатокомпонентні системи.	10
	Разом за 7 семестр	56
8	Фазовий простір. Ансамблі Гіббса. Теорема Ліувілля.	2
9	Основні постулати класичної статистичної механіки. Гіпотеза про рівну апіорну ймовірність	2
10	Мікроканонічний ансамбль та розподіл Гіббса. Статистична вага та ентропія.	4
11	Канонічний ансамбль Гіббса. Канонічний розподіл.	6
12	Великий канонічний ансамбль та розподіл Гіббса.	6
13	Ентропія–міра неупорядкованості. Умовна ентропія. Інформація. Зростання ентропії в процесі еволюції.	4
14	Неідеальні гази.	4
15	Статистичний оператор (матриця густини) та його властивості.	4
16	Рівняння Блоха. Спінова матриця густини, гарамагнетизм Паулі.	4
17	Квантові гази. Розподіли Фермі – Дірака, Бозе - Ейнштейна.	6
18	Термодинамічні властивості вироджених фермі- та бозе- газів. Діамагнетизм Ландау. Бозе – Ейнштейнівська конденсація.	6
19	Чорне випромінення.	6
20	Статистична фізика твердого тіла. Акустичні та оптичні фонони.	6
21	Теорія флуктуацій.	6
	Разом за 8 семестр	66
	Разом	122

## 7. Методи навчання

При викладанні термодинаміки та статистичної фізики використовують словесні, наочні, практичні та дискусійні методи навчання. На лекціях використовують найчастіше словесний, наочний та дискусійний методи. На практичних заняттях найчастіше використовують практичний та дискусійний методи. Під час самостійної роботи знаходять застосування всі згадані методи навчання.

## 8. Методи контролю

Навчальним планом передбачені наступні методи контролю:

- Поточний контроль:
- у першому семестрі передбачає 2 розрахунково-графічну роботи, розв’язання яких має бути захищеним, і 1 контрольну роботу,
- у другому семестрі передбачає 3 розрахунково-графічну роботи, розв’язання яких має бути захищеним, і 2 контрольні роботи.

Підсумковий семестровий контроль – це залік у першому семестрі та іспит у другому семестрі у комбінованій формі.

### 9. Схема нарахування балів

#### 1 семестр

Контрольна робота 1	10
Розрахункова робота 1	10
Розрахункова робота 2	10
Практичні заняття,	19
Залік	40
Сума	100

#### 2 семестр

Контрольна робота 2	10
Контрольна робота 3	10
Розрахункова робота 3	7
Розрахункова робота 4	7
Розрахункова робота 5	6
Практичні заняття	20
Іспит	40
Сума	100

#### Критерії оцінювання навчальних досягнень

Критерії оцінювання **контрольних робіт** Максимальна кількість балів за контрольну роботу становить 10 балів. Контрольні роботи містить по два питання та задачу.

Критерії оцінювання теоретичних питань:

- Повна розгорнута відповідь - 3 бали.
- Повна, але не розгорнута відповідь - 2 бали.
- Повна, але не розгорнута відповідь, яка містить незначну помилку чи суперечність, - 1,5 балів.
- Неповна відповідь, яка не містить критичних помилок чи суперечностей, - 1 бал.
- Відповідь, що містить критичну помилку чи неточність, або відсутність відповіді оцінюється в 0 балів.

Критерії оцінювання розв'язання задачі:

- Студент отримав загальний розв'язок і правильно вирахував числове значення відповіді - 4 бал.
- Студент отримав загальний розв'язок, але неправильно вирахував числове значення відповіді або помилився в одиницях вимірювання - 3 бали.
- Студент правильно виписав необхідні для розв'язання закони та рівняння, але не зміг отримати загальний розв'язок - 2 бали.
- Студент не повністю виписав необхідні для розв'язання закони та рівняння - 1 бал.
- Студент неправильно виписав необхідні для розв'язку закони та рівняння, чи розв'язок взагалі відсутній - 0 балів.

Критерії оцінювання **розрахунково-графічної роботи**. Максимальна кількість балів за розрахунково-графічну роботу складає 10, 7 і 6 балів, відповідно. Кожна незахищена задача знижує кількість балів на 2 бали. **Підсумковий контроль** у першому семестрі проводиться в формі заліку.

**Підсумковий контроль** у другому семестрі проводиться в формі екзамену. До складання іспиту допускають студентів, які набрали протягом семестру не менше 50% балів за кожну контрольну, практичні заняття та розрахункові роботи.

Екзаменаційне завдання: білет містить два теоретичних питання та одну задачу:

Перше питання до 10 балів.

Друге питання до 10 балів.

Розв'язання задачі до 20 балів.

**Критерії оцінювання теоретичних питань:**

Повна розгорнута відповідь - 10 балів.

Повна, але не розгорнута відповідь - 9 балів.

Повна, але не розгорнута відповідь, яка містить незначну помилку чи суперечність, - 8 балів, за кожну наступну незначну помилку чи суперечність знімається 1 бал.

Неповна відповідь, яка не містить критичних помилок чи суперечностей, - 7 балів, за кожну наступну незначну помилку чи суперечність знімається 1 бал.

Відповідь, що містить критичну помилку чи неточність, або відсутність відповіді оцінюється в 0 балів.

**Критерії оцінювання розв'язання задачі:**

Студент отримав загальний розв'язок і правильно вирахував числове значення відповіді - 20 балів.

Студент отримав загальний розв'язок і неправильно вирахував числове значення відповіді - 17 балів.

Студент отримав загальний розв'язок, але помилився в одиницях вимірювання - 13 балів.

Студент правильно вписав необхідні для розв'язання закони та рівняння, але не зміг отримати загальний розв'язок - 8 балів.

Студент не повністю вписав необхідні для розв'язання закони та рівняння - 2 бали.

Студент не правильно вписав необхідні для розв'язку закони та рівняння, чи розв'язок взагалі відсутній 0 балів.

Число балів, які студент отримав на екзамені, є сумою балів, що були отримані за кожне завдання з екзаменаційного білету.

Кінцева оцінка виставляється за сумою балів поточного та підсумкового контролю за шкалою що наведена нижче.

Для допуску до складання підсумкового контролю (екзамену) здобувач вищої освіти повинен набрати не менше 15 балів з навчальної дисципліни під час поточного контролю, самостійної роботи, індивідуального завдання.

**Шкала оцінювання**

Сума балів за всі види навчальної діяльності протягом семестру	Оцінка
	для чотирирівневої шкали оцінювання
90 – 100	<b>відмінно</b>
70-89	<b>добре</b>
50-69	<b>задовільно</b>
1-49	<b>незадовільно</b>

## 10. Рекомендована література

### Основна література

1. Statistical Physics, Third Edition, Part 1: Volume 5 (Course of Theoretical Physics, Volume 5) 3rd Edition by L D Landau , E.M. Lifshitz / Butterworth-Heinemann; 3rd edition (January 15, 1980) 564 p.
2. Statistical Mechanics: A Set Of Lectures (Frontiers in Physics) 1st Edition by Richard P. Feynman/ CRC Press; 1st edition (March 5, 1998) 372 pages
3. Kubo R. Thermodynamics (North Holland Publishing Co, 1968)
4. Statistical Mechanics, 2nd Edition: Huang, Kerson/ Wiley; 2nd edition (January 16, 1991)
5. В.В. Ангелейко, А.Г. Гах, В.Д. Ходусов. Ілюстрація основних положень статистичної теорії на основі спінової моделі. Методичні вказівки. /В. Ангелейко, А.Г. Гах, В.Д. Ходусов. – Х: Вид-во ХНУ ім. В. Н. Каразіна, 2011. – 28 с.
6. В.В. Ангелейко, В.І. Приходько. Статистичний оператор. Квантові гази. / В.В. Ангелейко, В.І. Приходько. – Харків: ХНУ, 1999. – 22 с.
7. Гах А.Г., Ходусов В.Д., Наумовець А.С.. Збірка завдань з термодинаміки і статистичної фізики. У двох частинах. Частина 1. Термодинаміка. – Х: Вид-во ХНУ ім. В. Н. Каразіна, 2016. – 136 с.

### Допоміжна

- Isihara. Statistical Physics. 1st Edition. Academic Press 1971. pages: 454

## 11. Інформаційні ресурси

- <https://slideplayer.com/slide/5098819/>

## 15. Екзаменаційні питання

### Термодинаміка та статистична фізика (7 семестр).

- 1) Термодинамічна система. Внутрішні й зовнішні параметри термодинамічної системи.
- 2) Гомогенні й гетерогенні системи. Фази й компоненти.
- 3) Стан термодинамічної рівноваги. Рівноважні процеси. Оборотні, необоротні.
- 4) Внутрішня енергія. Робота й тепло.
- 5) Умовна температура. Процеси в термостаті. Нульовий початок термодинаміки.
- 6) Умовна ентропія. Процеси в адіабаті.
- 7) Абсолютна температура й абсолютна ентропія ідеального газу.
- 8) Термічне й калорічне рівняння стану.
- 9) Якобіан  $\frac{\partial [x, y]}{\partial [\xi, \eta]}$ , його властивості.
- 10) Адіабатичний потенціал (Внутрішня енергія). Співвідношення повноти диференціала для внутрішньої енергії.
- 11) Перший початок термодинаміки.
- 12) Теплоємність. Співвідношення Майєра.
- 13) Основні термодинамічні процеси. Політропні процеси.
- 14) Кругові процеси. Цикл Карно. КПД циклу Карно.
- 15) Теплові й холодильні машини. Максимальна робота (КПД) вироблена тепловою машиною.
- 16) Другий початок термодинаміки Рівність Клаузиуса.

- 17) Введення абсолютної температури й абсолютної ентропії засноване на постулаті Каратеодорі.
- 18) Принцип Нернста (Третій початок термодинаміки) і наслідки з нього.
- 19) Термодинамічні коефіцієнти. Незалежні термодинамічні коефіцієнти.
- 20) Рівняння Ван-дер-Ваальса. Критична точка. Закон відповідних станів.
- 21) Термодинаміка газу Ван-дер-Ваальса.
- 22) Процеси Гей-Люссака (розширення газу в порожнечу).
- 23) Процес Джоуля-Томпсона. Охолодження газів.
- 24) Термодинаміка магнетиків та діелектриків.
- 25) Другий початок термодинаміки для нестатичних процесів. Нерівність Клаузиуса. Основне рівняння й нерівність термодинаміки.
- 26) Термодинамічні потенціали. Перетворення Лежандра. Метод термодинамічних функцій. Мнемонічний квадрат М. Борна.
- 27) Рівняння Максвелла. (Основні диференціальні рівняння термодинаміки).
- 28) Вільна енергія Гельмгольца (Ізотермічний потенціал). Рівняння Гиббса-Гельмгольца.
- 29) Ентальпія (Теплова функція, тепломісткість).
- 30) Потенціал Гиббса.
- 31) Система зі змінною кількістю речовини. Великий термодинамічний потенціал Гиббса.
- 32) Хімічний потенціал.
- 33) Теорема Гиббса-Дюгема.
- 34) Процеси вирівнювання. Закон зростання ентропії.
- 35) Зустрічна дифузія двох газів. Парадокс Гиббса.
- 36) Умова рівноваги й стійкості термодинамічних систем.
- 37) Екстремальні властивості термодинамічних функцій.
- 38) Основні термодинамічні нерівності (Висновок).
- 39) Рівновага фаз.
- 40) Фазові переходи першого роду.
- 41) Рівняння Клайперона-Клаузиуса (Висновок).
- 42) Правило Максвелла для рівняння Ван-дер-Ваальса.
- 43) Принцип Ле-Шательє-Брауна (Якісний аналіз).
- 44) Рівновага трьох фаз.
- 45) Метастабільні стани. Явища перегріву й переохолодження.
- 46) Фазові переходи другого роду. Рівняння Еренфеста.
- 47) Термодинаміка надпровідників.
- 48) Багатокомпонентні системи. Правила фаз.
- 49) Хімічна рівновага в однорідній системі. Закон діючих мас.
- 50) Локальна рівновага. Основне рівняння нерівноважної термодинаміки.
- 51) Рівняння балансу і закони збереження взаємності.
- 52) Співвідношення Онзайгера і принцип Кюрі.
- 53) Принцип Онзайгера, принцип Пригожина.
- 54) Універсальний критерій еволюції Гленздорфа-Пригожина.

### **Термодинаміка та статистична фізика (8 семестр)**

1. Рівняння Гамільтона системи частинок Інтеграл руху.
2. Фазовий простір. Ансамбль Гіббса. Щільність ймовірності або функція розподілу. Рівняння Ліувілля.
3. Теорема Ліувілля (доказ).
4. Формальне і фізичне поняття ймовірності. Середнє значення випадкових величин. Статистично незалежні події. Умовна ймовірність.
5. Флуктуації випадкових величин.
6. Термодинамічна рівновага з молекулярної точки зору.

7. Основні постулати класичної статистичної механіки. Гіпотеза про рівну апіорну ймовірність
8. Мікроканонічний ансамбль. Мікроканонічний розподіл Гіббса.
9. Статистичний вага і ентропія для мікроканонічного ансамблю Гіббса.
10. Ергодична гіпотеза. Довести, що середнє за часом збігається із середнім за ансамблем для ергодичної систем.
11. Канонічний ансамбль. Канонічний розподіл Гіббса. Статистичний інтеграл (сума) і термодинамічні функції канонічного розподілу.
12. Перша і друга леми Гіббса. Флуктуація енергії в канонічному розподілі. Еквівалентність мікроканонічного і канонічного розподілів.
13. Застосування канонічного розподілу Гіббса до ідеального одноатомного газу. Парадокс Гіббса Формула Сакура-Тетроде.
14. Розподіл Максвелла і Максвелла-Больцмана.
15. Закон рівномірного розподілу кінетичної енергії за ступенями свободи. Теорема віриалу.
16. Застосування класичної статистичної фізики до обчислення теплоємності ідеальних газів.
17. Великий канонічний ансамбль. Розподіл Гіббса для систем зі змінним числом частинок.
18. Великий статистичний інтеграл (сума) і термодинамічні функції великого канонічного розподілу Гіббса.
19. Флуктуація числа частинок у великому канонічному ансамблі. Еквівалентність великого канонічного і канонічного ансамблів Гіббса.
20. Ентропія - міра невизначеності. Умовна ентропія. Інформація.
21. Зростання ентропії в процесі еволюції. Теорема Гіббса.
22. Неідеальні гази Врахування двочастинкової взаємодії
23. Розкладання по степенях щільності. Віриальне розкладання.
24. Другий віриальний коефіцієнт і рівняння Ван-дер-Ваальса.
25. Термодинаміка класичної плазми. Метод Дебая-Хюккеля.
26. Представлення Шредінгера і Гайзенберга для опису квантових систем.
27. Різні представлення рівняння Шредінгера.
28. Чисті і змішані стани у квантовій механіці. Оператор проектування Матриця щільності (статистичний оператор).
29. Основні властивості статистичного оператора. Рівняння Ландау - фон Неймана.
30. Постулати квантової статистичної механіки Квантовий ансамбль Гіббса.
31. Мікроканонічний, канонічний, великий канонічний квантові розподілу Гіббса.
32. Рівняння Блоха. Статистичний оператор вільної частинки.
33. Спінова матриця щільності. Парамагнетизм Паулі.
34. Принцип нерозрізненості однакових частинок у квантовій механіці. Зв'язок зі статистикою.
35. Ідеальний квантовий газ. Розподіл Больцмана.
36. Розподіл Фермі-Дірака (вивести).
37. Розподіл Бозе-Ейнштейна (вивести).
38. Нерівноважний Фермі-газ. Формула для середніх чисел заповнення.
39. Нерівноважний Бозе-газ. Формула для середніх чисел заповнення.
40. Бозе- і Фермі-гази елементарних частинок.
41. Здобуття рівняння стану Бозе-газу в першому наближенні по  $\exp(\mu / \Theta) \ll 1$ .
42. Здобуття рівняння стану Фермі-газу в першому наближенні по  $\exp(\mu / \Theta) \ll 1$ .
43. Повністю вироджений електронний газ. Фермієвського імпульс і енергія.
44. Теплоємність виродженого електронного газу.
45. Релятивістський вироджений електронний газ.
46. Вироджений Бозе-газ. Явище Бозе-конденсації.
47. Чорне випромінювання. Формули Планка, Релея-Джинса, Вина.
48. Термодинаміка чорного випромінювання. Закон Стефана-Больцмана.
49. Квантові і класичні осцилятори і ротатори в термостаті.
50. Кристалічні тверді тіла. Акустичні та оптичні фонони. Фонон - квазічастинки теплового збудження решітки.

51. Теплоємність твердих тіл. Формула Дюлонга і Пті.
52. Модель Ейнштейна.
53. Інтерполяційна формула Дебая.
54. Рівняння стану твердого тіла. Співвідношення Грюнейзена.
55. Розширення твердих тіл.
56. Розподіл Гаусса для флуктуацій.
57. Розподіл Гаусса для флуктуацій декількох величин.
58. Флуктуації основних термодинамічних величин.
59. Формула Пуассона

### Приклади екзаменаційних білетів з термодинаміки:

Харківський національний університет  
імені В.Н. Каразіна  
ННІ «Фізико-технічний факультет»

Напрямок підготовки **105 - Прикладна фізика** Семестр: 7  
спеціалізація « \_\_\_\_\_ »  
Навчальна дисципліна: Термодинаміка та статистична фізика

#### ЕКЗАМЕНАЦІЙНИЙ БІЛЕТ № 1

1. Термодинамічна система. Внутрішні й зовнішні параметри термодинамічної системи.
2. Фазові переходи другого роду. Рівняння Еренфеста.
3. Знайти критичні параметри для рівняння Бертло  $\left(p + \frac{a}{V^2T}\right)(V - b) = RT$  в безрозмірних змінних  $\tilde{P}, \tilde{V}, \tilde{T}$ ;

Харківський національний університет  
імені В.Н. Каразіна  
ННІ «Фізико-технічний факультет»

Напрямок підготовки **105 - Прикладна фізика** Семестр: 7  
спеціалізація « \_\_\_\_\_ »

Навчальна дисципліна: Термодинаміка та статистична фізика

#### ЕКЗАМЕНАЦІЙНИЙ БІЛЕТ № 11

1. Основні термодинамічні процеси. Політропні процеси.
2. Зустрічна дифузія двох газів. Парадокс Гіббса.
3. Термодинамічна система розширюється таким чином, що її внутрішня енергія  $U$  залишається постійною. Як зміниться температура системи?  $\left(\left(\frac{\partial T}{\partial V}\right)_U - ?\right)$ . Чи буде такий процес зворотним?

Харківський національний університет  
імені В.Н. Каразіна  
ННІ «Фізико-технічний факультет»

Напрямок підготовки **105 - Прикладна фізика** Семестр: 7  
спеціалізація « \_\_\_\_\_ »

Навчальна дисципліна: Термодинаміка та статистична фізика

**ЕКЗАМЕНАЦІЙНИЙ БІЛЕТ №26**

1. Метод термодинамічних функцій. Мнемонічний квадрат М. Борна
2. Багатокомпонентні системи. Правила фаз.
3. Для одиниці об'єму діелектрика з постійною щільністю знайти  $C_H$ - $C_M$  однорідного ізотропного діелектрика.

**Приклади екзаменаційних білетів з статистичної фізики:**

Харківський національний університет  
імені В.Н. Каразіна  
ННІ «Фізико-технічний факультет»

Напрямок підготовки **105 - Прикладна фізика** Семестр:  8   
спеціалізація « \_\_\_\_\_ »

Навчальна дисципліна: Термодинаміка та статистична фізика \_\_\_\_\_

**ЕКЗАМЕНАЦІЙНИЙ БІЛЕТ №25**

1. Флуктуація енергії в канонічному розподілі. Еквівалентність мікроканонічного і канонічного розподілів.
2. Модель Ейнштейна.
3. Знайти середнє значення відносної намагніченості модельної спінової системи в зовнішньому магнітному полі

Харківський національний університет  
імені В.Н. Каразіна  
ННІ «Фізико-технічний факультет»

Напрямок підготовки **105 - Прикладна фізика** Семестр:  8   
спеціалізація « \_\_\_\_\_ »



Навчальна дисципліна: **Термодинаміка та статистична фізика**\_\_\_\_\_

**ЕКЗАМЕНАЦІЙНИЙ БІЛЕТ №11**

1. Энтропия - мера неопределенности. Условная энтропия. Информация.
2. Вывод уравнения состояния Ферми-газа в первом приближении по  $\exp(\mu/\Theta) \ll 1$ .
3. Найти объем шара и объем шарового слоя в N-мерном фазовом пространстве

Харківський національний університет  
імені В.Н. Каразіна  
ННІ «Фізико-технічний факультет»

Напрямок підготовки **105 - Прикладна фізика** Семестр:   8    
спеціалізація «\_\_\_\_\_»

Навчальна дисципліна: **Термодинаміка та статистична фізика**\_\_\_\_\_

**ЕКЗАМЕНАЦІЙНИЙ БІЛЕТ №2**

1. Теорема Лиувилля (доказательство).
2. Квантовые и классические осцилляторы в термостате.
3. Найти внутреннюю и свободную энергии и теплоемкость  $C_v$  при постоянном объеме столба одноатомного идеального газа из  $N$  молекул в трубе высотой  $h_0$  площадью сечения  $S$ , находящегося в однородном поле тяжести напряженностью  $g$ . Определить  $C_v$  в предельных случаях  $mgh_0/(kT) \ll 1$  и  $mgh_0/(kT) \gg 1$ .