

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ПРИКАРПАТСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ ВАСИЛЯ СТЕФАНІКА**



**Фізико-технічний факультет  
Кафедра фізики і методики викладання**

**СИЛАБУС НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ**

## **Термодинаміка і статистична фізика**

Рівень вищої освіти	<b>Перший (бакалаврський)</b>
Освітня програма	<b>Прикладна фізика та наноматеріали</b>
Спеціальність	<b>105 Прикладна фізика та наноматеріали</b>
Галузь знань	<b>10 Природничі науки</b>

Затверджено на засіданні кафедри  
Протокол № 1 від “27” серпня 2022 р.

<b>1. Загальна інформація</b>	
<b>Назва дисципліни</b>	Термодинаміка і статистична фізика
<b>Викладач</b>	Кандидат фізико-математичних наук, професор, професор кафедра фізики і методики викладання Кланічка Володимир Михайлович
<b>Контактний телефон викладача</b>	(0342)596155
<b>Е-mail викладача</b>	<a href="mailto:v.klanichka@gmail.com">v.klanichka@gmail.com</a>
<b>Формат дисципліни</b>	Нормативна
<b>Обсяг дисципліни</b>	6 кредитів
<b>Посилання на сайт дистанційного навчання</b>	<a href="https://classroom.google.com/u/0/c/NDM1MTI3OTMyMTJa">https://classroom.google.com/u/0/c/NDM1MTI3OTMyMTJa</a> <a href="http://www.d-learn.pu.if.ua/">http://www.d-learn.pu.if.ua/</a>
<b>Консультації</b>	Щотижня
<b>2. Загальна інформація</b>	
Курс термодинаміка і статистична фізика є фундаментальним розділом основного курсу теоретичної фізики і є базовим для ряду спеціальних курсів.	
<b>3. Мета та цілі курсу</b>	
<p>Мета навчальної дисципліни полягає у формуванні у студентів знань про завершальний розділі теоретичної фізики – термодинаміки і статистичної фізики, у вивченні можливостей використання статистичних методів в різних областях фізики конденсованих і складних систем, радіофізики і радіотехніки.</p> <p>Основна мета дисципліни «Термодинаміка і статистична фізика» - дати студентам глибокі знання основних термодинамічних і статистичних закономірностей макроскопічних систем, а так само навчити користуватися цими законами на практиці. Засвоївши основні методи термодинаміки і статистичної фізики, студент повинен вміти виконувати необхідні розрахунки фізичних характеристик систем і давати їм фізичну інтерпретацію. В курсі термодинаміки студентам належить оволодіння феноменологічним підходом опису макросистем, який заснований на тепловій формі фундаментального закону фізики - закон збереження енергії. В курсі статистичної фізики студентам належить вивчення основних ідей, понять і уявлень статистичного способу опису макросистем. Студенти повинні засвоїти статистично - імовірнісні методи дослідження багаточастинкових класичних і квантових систем, пов'язані із застосуванням методу статистичних ансамблів Гіббса. Одним із завдань дисципліни є формування фізичного світогляду, що дозволить розглядати фізичні властивості макроскопічних систем з універсальної і єдиної точки зору. Ця єдність забезпечується поєднанням імовірнісного підходу в описі поведінки окремих мікрочастинок і різних макросистем разом з урахуванням фундаментальних уявлень про будову речовини.</p> <p>Дисципліна дозволяє розширити базові уявлення студентів, отримані в рамках вивчення наступних навчальних дисциплін: диференціальне та інтегральне числення, диференціальні рівняння, рівняння і методи математичної фізики,</p>	

ймовірність і статистика, теорії випадкових процесів, статистичного оцінювання і перевірки гіпотез, статистичних методів обробки експериментальних даних, а також дисциплін загальної та експериментальної фізики, основ теоретичної фізики. Спрямована на інтенсифікацію міждисциплінарних зв'язків різних природних наук.

Завдання вивчення дисципліни полягають в наступному:

- виклад основних понять і вихідних положень термодинаміки;
- знайомство з основними законами і рівняннями термодинаміки;
- знайомство з ключовими методами термодинаміки;
- виклад умов рівноваги і стійкості термодинамічних систем;
- знайомство з фазовими переходами першого і другого роду;
- встановлення зв'язку статистичної фізики і термодинаміки;
- знайомство з основними принципами побудови статистичної фізики;
- виклад розподілів Гіббса;
- розгляд ідеального газу, квантового та класичного;
- облік неідеальної газів, в тому числі з кулоновським взаємодією;
- статистичний опис твердих тіл і рідин;
- виклад теорії флуктуацій і основ фізичної кінетики

#### 4. Результати навчання (компетентності)

##### **Інтегральна компетентність**

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

##### **Загальні компетентності (ЗК)**

ЗК01. Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу.

##### **Спеціальні (фахові) компетентності (СК)**

СК16. Знання і розуміння теоретичного та експериментального базису сучасної фізики та астрономії.

СК22. Здатність використовувати базові знання з фізики та астрономії для розуміння будови та поведінки природних і штучних об'єктів, законів існування та еволюції Всесвіту.

СК25. Здатність самостійно навчатися і опановувати нові знання з фізики, астрономії та суміжних галузей.

СК28. Орієнтація на найвищі наукові стандарти – обізнаність щодо фундаментальних відкриттів та теорій, які суттєво вплинули на розвиток фізики, астрономії та інших природничих наук.

#### 5. Програмні результати навчання

ПР01. 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/або астрономії.

ПР02. Знати і розуміти фізичні, математичні та комп'ютерні моделі для дослідження фізичних явищ, приладів і наукоємних технологій, та методи дослідження властивостей речовин і матеріалів.

ПР03. Знати і розуміти експериментальні основи фізики: аналізувати, описувати, тлумачити та пояснювати основні експериментальні підтвердження існуючих фізичних теорій.

ПР05. Знати основні актуальні проблеми сучасної фізики та астрономії.

ПР06. Оцінювати вплив новітніх відкриттів на розвиток сучасної фізики та астрономії

ПР07. Розуміти, аналізувати і пояснювати нові наукові результати, одержані у ході проведення фізичних та астрономічних досліджень відповідно до спеціалізації.

ПР09. Мати базові навички проведення теоретичних та/або експериментальних наукових досліджень з окремих спеціальних розділів фізики або астрономії, що виконуються індивідуально (автономно) та/або у складі наукової групи.

ПР13. Розуміти зв'язок фізики та/або астрономії з іншими природничими та інженерними науками, бути обізнаним з окремими (відповідно до спеціалізації) основними поняттями прикладної фізики, матеріалознавства, інженерії, хімії, біології тощо, а також з окремими об'єктами (технологічними процесами) та природними явищами, що є предметом дослідження інших наук і, водночас, можуть бути предметами фізичних або астрономічних досліджень.

## 6. Організація навчання курсу

Обсяг курсу					
Вид заняття			Загальна кількість годин		
лекції			40 год.		
практичні заняття			38 год.		
самостійна робота			102 год.		
Ознаки курсу					
Семестр	Спеціальність	Курс (рік навчання)	Нормативний / вибірковий		
8	104 Фізика та астрономія	4	Нормативний		
Тематика курсу					
Тема, план	Форма заняття	Літер атура	Завдання, год	Вага оцін ки	Термі н викон ання
<b>Тема 1.</b> Об'єкт, предмет і методи термодинаміки та статистичної фізики. Поняття термодинамічної системи.	лекція/ пр. зан.	1-36	Тестові завдання, п рактичні заняття. 2 год.	2	01.06. 2023

<p>Інтенсивні та екстенсивні параметри стану. Термодинамічні потенціали та їх залежність від параметрів стану системи.</p> <p>Нульовий принцип термодинаміки. Рівноважний стан.</p> <p>Температура.</p> <p>Принцип еквівалентності тепла й механічної роботи. Перший принцип термодинаміки.</p> <p>Внутрішня енергія термодинамічної системи.</p>					
<p><b>Тема 2.</b></p> <p>Другий принцип термодинаміки. Рівноважні (зворотні) та нерівноважні (незворотні) процеси. Адіабатичний процес. Другий принцип термодинаміки для рівноважних процесів. Поняття ентропії. Обчислення коефіцієнта корисної дії теплових машин. Другий принцип термодинаміки для нерівноважних процесів. Нерівність Клаузіуса.</p>	лекція/ пр. зан.	1-36	Тестові завдання, практичні заняття. 2 год.	2	01.06. 2023
<p><b>Тема 3.</b></p> <p>Фізичний зміст хімічного потенціалу. Співвідношення Дюгема-Гіббса. Кількість незалежних параметрів стану системи. Залежність термодинамічних потенціалів від кількості частинок.</p>	лекція/ пр. зан.	1-36	Тестові завдання, практичні заняття. 2 год.	2	01.06. 2023
<p><b>Тема 4.</b></p> <p>Необхідні та достатні умови термодинамічної рівноваги однокомпонентних ізольованих систем. Теплова рівновага. Механічна рівновага. Фазова рівновага. Неповна рівновага. Локальна рівновага. Достатні умови термодинамічної</p>	лекція/ пр. зан.	1-36	Тестові завдання, практичні заняття. 2 год.	2	01.06. 2023

рівноваги. Рівновага за додаткових умов.					
<b>Тема 5.</b> Термодинамічний метод моделювання фізичних процесів. Основне рівняння термодинаміки. Співвідношення Максвелла. Термічне та калоричне рівняння стану, умова їх сумісності. Застосування термодинаміки для дослідження ідеального атомного газу та інших термодинамічних систем. Процес Джоуля-Томсона. Температура інверсії для газу ван дер Ваальса. Парадокс Гіббса. Третій принцип термодинаміки та наслідки з нього.	лекція/ пр. зан.	1-36	Тестові завдання, практичні заняття. 2 год.	2	01.06. 2023
<b>Тема 6.</b> Статистичний метод вивчення властивостей макроскопічних систем. Мікростани та макростан системи. Статистичний ансамбль. Усреднення за часом і за ансамблем. Ергодична гіпотеза. Густина ймовірності мікростанів. Рівняння Ліувілля.	лекція/ пр. зан.	1-36	Тестові завдання, практичні заняття. 2 год.	1	01.06. 2023
<b>Тема 7.</b> Мікроканонічний ансамбль. Мікроканонічний розподіл Гіббса. Термодинамічна вага стану системи із заданими внутрішньою енергією та кількістю частинок. Принцип Больцмана. Особливості дослідження класичних систем.	лекція/ пр. зан.	1-36	Тестові завдання, практичні заняття. 2 год.	1	01.06. 2023
<b>Тема 8.</b> Дослідження термодинамічних систем за допомогою принципу Больцмана. Парамагнетизм Кюрі. Системи з від'ємною абсолютною температурою.	лекція/ пр. зан.	1-36	Тестові завдання, практичні заняття. 4 2 год.	2	01.06. 2023

Застосування принципу Больцмана для дослідження властивостей ідеального атомного газу, інших класичних і квантових систем.					
<b>Тема 9.</b> Канонічний ансамбль. Канонічний розподіл Гіббса. Статистичний інтеграл і статистична сума. Урахування тотожності частинок. Зв'язок вільної енергії Гельмгольца з статистичним інтегралом і статистичною сумою.	лекція/ пр. зан.	1-36	Тестові завдання, практичні заняття. 2 год.	2	01.06. 2023
<b>Тема 10.</b> Дослідження термодинамічних систем методом канонічного ансамблю. Застосування цього методу для дослідження властивостей ідеального атомного газу, інших класичних і квантових систем.	лекція/ пр. зан.	1-36	Тестові завдання, практичні заняття. 2 год.	2	01.06. 2023
<b>Тема 11.</b> Основні поняття рівноважної квантової статистичної фізики. Статистичний оператор і матриця густини ймовірності мікростанів. Рівняння Неймана. Квантування енергії поступального руху частинок ідеального газу.	лекція/ пр. зан.	1-36	Тестові завдання, практичні заняття. 2 год.	2	01.06. 2023
<b>Тема 12.</b> Великий канонічний ансамбль. Великий канонічний розподіл Гіббса. Велика статистична сума. Великий термодинамічний потенціал, його зв'язок з великою статистичною сумою, іншими термодинамічними параметрами. Обчислення великого термодинамічного потенціалу і рівнянь стану ідеального	лекція/ пр. зан.	1-36	Тестові завдання, практичні заняття. 2 год.	2	01.06. 2023

атомного газу зі змінною кількістю частинок.					
<p><b>Тема 13.</b> Властивості молекулярних газів Термодинамічні властивості невинродженого ідеального газу, що складається з двохатомних молекул. Електронна, поступальна, коливальна та обертальна частини статистичної суми. Вплив обертального й коливального рухів на теплоємність. Особливості системи молекул, що складаються з однакових атомів. Властивості орто- та параводню.</p>	лекція/ пр. зан.	1-36	Тестові завдання, практичні заняття. 2 год.	3	01.06. 2023
<p><b>Тема 14.</b> Термодинамічні властивості невинродженого ідеального газу, що складається з багатоматомних молекул. Термодинамічні властивості реального газу. Конфігураційний інтеграл. Рівняння стану у вигляді віріального ряду за степенями густини. Рівняння стану ван дер Ваальса. Зв'язок другого віріального коефіцієнта з параметрами міжмолекулярної взаємодії.</p>	лекція/ пр. зан.	1-36	Тестові завдання, практичні заняття. 2 год.	3	01.06. 2023
<p><b>Тема 15.</b> Статистична теорія винроджених систем. Обчислення великої статистичної суми для ідеального газу квантових частинок з урахуванням особливостей хвильової функції. Розподіли Фермі-Дірака та Бозе-Ейнштейна. Невинроджений газ, розподіл Максвелла-Больцмана. Хвильові та корпускулярні властивості частинок у</p>	лекція/ пр. зан.	1-36	Тестові завдання, практичні заняття. 2 год.	3	01.06. 2023

вироджених та невироджених системах. Методика обчислень термічного та калорічного рівнянь стану вироджених термодинамічних систем.					
<b>Тема 16.</b> Термодинамічні властивості електронного газу в металах. Густина електронних станів, енергія електронного газу, енергія Фермі, температурна залежність хімічного потенціалу, температура виродження. Теплоємність.	лекція/ пр. зан.	1-36	Тестові завдання, практичні заняття. 2 год.	3	01.06. 2023
<b>Тема 17.</b> Основні положення зонної теорії твердого тіла. Статистика рухомих та нерухомих носіїв заряду в напівпровідниках. Хімічний потенціал електронів в напівпровідниках. Принцип компенсації. Властивості власних і домішкових напівпровідників n- і p-типу. Температурна залежність концентрації носіїв струму домішкових напівпровідників.	лекція/ пр. зан.	1-36	Тестові завдання, практичні заняття. 2 год.	2	01.06. 2023
<b>Тема 18.</b> Явище конденсації Бозе-Ейнштейна. Температура бозе-конденсації. Кількість бозе-частинок на основному енергетичному рівні, енергія, теплоємність і тиск бозе-газу.	лекція/ пр. зан.	1-36	Тестові завдання, практичні заняття. 2 год.	2	01.06. 2023
<b>Тема 19.</b> Термодинамічні властивості рівноважного електромагнітного випромінювання. Закони Бартолі, Стефана-Больцмана, Віна, Релея-Джінса. Формула Планка для спектральної густини енергії випромінювання.	лекція/ пр. зан.	1-36	Тестові завдання, практичні заняття. 2 год.	2	01.06. 2023

<b>Тема 20.</b> Теплоємність твердого тіла. Закон Дюлонга--Пти. Модель твердого тіла Ейнштейна. Теорія теплоємності твердого тіла Дебая. Оптичні фонони та їх внесок в теплоємність.	лекція/ пр. зан.	1-36	Тестові завдання,п практичні заняття. 2 год.	4	01.06. 2023
<b>Тема 21.</b> Фізика гетерофазних багатокомпонентних систем Фазова рівновага. Умови фазової рівноваги в гетерогенній системі. Правило фаз Гіббса. Класифікація фазових переходів. Рівняння Клапейрона-Клаузіуса. Рівняння Еренфеста для фазових переходів другого роду. Умови хімічної рівноваги. Закон діючих мапр.	лекція/ пр. зан.	1-36	Тестові завдання,п практичні заняття. 2 год.	4	01.06. 2023
<b>Тема 22.</b> Теорія флуктуацій Флуктуації та кореляція параметрів стану термодинамічних систем. Статистична теорія флуктуацій. Флуктуації і кореляція термодинамічних величин у великому канонічному та канонічному ансамблях.	лекція/ пр. зан.	1-36	Тестові завдання,п практичні заняття. 2 год.	2	01.06. 2023
<b>Тема 23.</b> Термодинамічна теорія флуктуацій. Ймовірність термодинамічних флуктуацій. Флуктуація температури та інших параметрів стану термодинамічних систем.	лекція/ пр. зан.	1-36	Тестові завдання,п практичні заняття. 2 год.	2	01.06. 2023
Підсумковий контроль - 50					
<b>7. Система оцінювання курсу</b>					
Загальна система оцінювання курсу	<b>Теоретична підготовка</b> <b>Високий, А, 91* – 100, відмінно - 5</b> Студент має глибокі, міцні і систематичні знання всіх положень наукової методології, може не тільки вільно матеріалом, але й самостійно довести				

	<p>існування певних закономірностей, принципів, використовує здобуті знання і вміння в нестандартних ситуаціях, здатний вирішувати проблемні питання. Відповідь студента відрізняється точністю формулювань, логікою, достатній рівень узагальненості знань</p> <p style="text-align: center;"><b>Вище середнього, середній В, С, 81 – 90; 71 – 80; дуже добре, добре - 4</b></p> <p>Студент знає і може самостійно сформулювати основні методологічні підходи, принципи їх застосування, , але не завжди може самостійно здійснити критичний аналіз. Студент може самостійно застосовувати знання в стандартних ситуаціях, його відповідь логічна, але розуміння не є узагальненим.</p> <p style="text-align: center;"><b>Достатній, D, E, 61 – 70, 51 - 60 задовільно, посередньо - 3</b></p> <p>Студент відтворює основні поняття і визначення курсу, але досить поверхово, не виділяючи взаємозв'язок між ними, може сформулювати з допомогою викладача основні методологічні положення, знає істотні ознаки (засади) основних підходів та їх відмінність, може записати окремі термінологічні дефініції теоретичного положення за словесним формулюванням і навпаки; допускає помилки, які повною мірою самостійно виправити не може.</p> <p style="text-align: center;"><b>Низький, Fx / F 1 – 51, незадовільно 2</b></p> <p>Відповідь студента при відтворенні навчального матеріалу елементарна, фрагментарна, зумовлена нечіткими уявленнями про закони і методи. У відповіді цілком відсутня самостійність. Студент знайомий лише з деякими основними</p>
Вимоги до письмової роботи	<p style="text-align: center;"><b>Високий, A, 91* – 100, відмінно - 5</b></p> <p>Студент самостійно розв'язує типові ситуаційні задачі різними способами, стандартні, комбіновані й нестандартні казуси з наукової методології, здатний проаналізувати й узагальнити отриманий</p>

	<p>результат. При виконанні індивідуальних завдань та самостійних робіт студент дотримується усіх вимог, передбачених програмою курсу. Крім того, його дії відрізняються раціональністю, вмінням оцінювати помилки й аналізувати результати</p> <p style="text-align: center;"><b>Вище середнього, середній В, С, 81 – 90; 71 – 80; дуже добре, добре - 4</b></p> <p>Студент самостійно розв'язує типові (або за визначеним алгоритмом) казуси з наукової методології і завдання, володіє базовими навичками з виконання необхідних логічних операцій та перетворень, може самостійно сформулювати типову задачу за її словесним описом, скласти типову схему та обрати раціональний метод розв'язання, але не завжди здатний провести аналіз і узагальнення результату.</p> <p style="text-align: center;"><b>Достатній, D, E, 61 – 70, 51 - 60</b></p> <p style="text-align: center;"><b>задовільно, посередньо - 3</b></p> <p>Студент може розв'язати найпростіші типові задачі за зразком, виявляє здатність виконувати основний елементарний аналіз конкретних наукових методів, але не спроможний самостійно сформулювати задачу за словесним описом і визначити метод її розв'язання. При вирішенні фабули студент виконує роботу за зразком, але з помилками; робить висновки, але не розуміє достатньою мірою мету роботи</p> <p style="text-align: center;"><b>Низький, FX / F 1 – 51, незадовільно 2</b></p> <p>Студент знає основні терміни та вміє розрізняти окремі закономірності. Вміє розв'язувати задачі лише на відтворення основних положень методики викладання природничих дисциплін, здійснювати найпростіші логічні операції.</p>
<p>Умови допуску до підсумкового контролю</p>	<p>Студент допускається до складання екзамену, якщо впродовж семестру він за змістові модулі набрав сумарно 25 балів і вище.</p> <p>Студент не допускається до складання екзамену, якщо впродовж семестру він за змістові модулі набрав менше 25 балів. У цьому випадку студенту у відомості робиться запис "не допущений"</p>

	<p>і виставляється набрана кількість балів. Допускається, як виняток, з дозволу декана факультету за заявою, погодженою з відповідною кафедрою, одноразове виконання студентом додаткових видів робіт з навчальної дисципліни (відпрацювання пропущених занять, перескладання змістових модулів, виконання індивідуальних завдань тощо) для підвищення оцінок за змістові модулі.</p> <p>Напередодні екзамену викладач подає доповідну декану про недопуск студентів академічної групи (груп). Відмітка про недопуск у відомості робиться при наявності розпорядження декана.</p>
--	---

### 8. Політика курсу

Протягом семестру для перевірки знань студентів та контролю за самостійною роботою студента застосовують домашні контрольні роботи, письмові роботи, написання реферату, та оцінки за виконані і здані лабораторні роботи. Проміжний контроль включає проведення модуля у формі тестових завдань, які поєднують питання закритого типу з питаннями відкритого типу з короткою і довгою відповіддю. Максимальний бал, який студент може отримати за всіма видами контролю – 100 балів, він складається із проміжних модулів та оцінки за лабораторні роботи. Студент повинен самостійно виконувати навчальні завдання, завдання поточного та підсумкового контролю. Вважається шахрайством копіювання іншого тесту, підглядання в роботу іншого студента, списування, використання підручника, зошита чи мобільного телефону під час написання модульної, підсумкової роботи, використання шпаргалок, дозволяти іншим копіювати вашу роботу.

У кінці семестру підраховується рейтинг за поточними видами контролю і підраховується загальний рейтинг, який переводиться в оцінку у відповідності до шкали оцінювання.

### 9. Рекомендована література

#### Базова

№ з/п	Автор (автори)	Назва	Видавництво, рік	К-сть екз.
1.	Боголюбов Н.Н.	Проблемы динамической теории в статистической физике. Избр. труды	К.: Наукова думка, 1970	
2.	Федорченко А.М.	Теоретична фізика. Т.2. Квантова механіка, термодинаміка і статистична фізика	К.: Вища школа, 1993 р.	

3.	Дудик М.В. Навчальний посібник	Термодинаміка і статистична фізика	Умань, 2015 р.	
4.	В.В. Дацюк, М. Ф. Ледней, І. П. Пінкевич	Термодинаміка і статистична фізика : зб. задач для студ. фіз. ф-ту	К, Видавничо- поліграфічний центр "Київський університет", 2012.	

**Викладач**

**проф. Кланічка В.М.**