

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



Фізико-технічний факультет

Кафедра фізики і методики викладання

**СИЛАБУС НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ**

**«Термодинаміка і статистична фізика»**

Рівень вищої освіти: **перший (бакалаврський)**

Освітня програма: **«Середня освіта (фізика та математика)»**

Предметна спеціальність: **014.08 Середня освіта (Фізика та астрономія)**

Спеціальність: **014 Середня освіта (за предметними спеціальностями)**

Галузь знань: **01 Освіта/Педагогіка**

Затверджено на засіданні кафедри  
Протокол №1 від “28” серпня 2023 р.

м. Івано-Франківськ - 2023

<b>1. Загальна інформація</b>	
<b>Назва дисципліни</b>	Термодинаміка і статистична фізика
<b>Викладач</b>	Кланічка В.М., професор, кандидат фізико-математичних наук
<b>Контактний телефон викладача</b>	0502935801
<b>Е-mail викладача</b>	volodymyr.klanichka@pnu.edu.ua
<b>Формат дисципліни</b>	Нормативна
<b>Обсяг дисципліни</b>	3 кредити
<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. Анотація до навчальної дисципліни</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 навчальної дисципліни</b>	
<p><b>Мета</b> 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>	

Дисципліна дозволяє розширити базові уявлення студентів, отримані в рамках вивчення наступних навчальних дисциплін: диференціальне та інтегральне числення, диференціальні рівняння, рівняння і методи математичної фізики, 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.

**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;
- розгляд неідеальних газів, в тому числі з кулонівською взаємодією;
- статистичний опис твердих тіл і рідин;
- виклад теорії флуктуацій і основ фізичної кінетики

#### **4. Програмні компетентності та результати навчання**

##### **Програмні результати навчання:**

**ПРН1.** Застосовувати систематизовані наукові знання та розуміння основних положень фізики та астрономії для розв'язування складних спеціалізованих задач та практичних проблем у професійній діяльності.

**ПРН9.** Володіти навичками та технологіями розв'язування задач з фізики та методикою навчання їх розв'язуванню.

##### **Фахові (спеціальні) компетентності (ФК)**

**ФК1.** Здатність використовувати комплекс наукових знань з фізики та астрономії у поєднанні із необхідним математичним апаратом для пояснення явищ природи, розуміння сучасної природничо-наукової картини світу.

**ФК3.** Здатність використовувати систематизовані та поглиблені наукові та практичні знання, уміння/навички з математики для розв'язання поставлених завдань і складних спеціалізованих задач та практичних проблем у професійній діяльності та/або навчанні.

#### **5. Організація навчання**

Обсяг навчальної дисципліни

Вид заняття	Загальна кількість годин
лекції	14 год.,

практичні заняття		16 год.		
самостійна робота		60 год.		
Ознаки навчальної дисципліни				
Семестр	Спеціальність	Курс (рік навчання)	Нормативний / вибірковий	
8	Середня освіта (фізика і математика)	4	Нормативний	
Тематика навчальної дисципліни				
Тема		Кількість годин		
		лекції	практи чні	сам. роб.
<p><b>Тема 1.</b> Об'єкт, предмет і методи термодинаміки та статистичної фізики. Поняття термодинамічної системи. Інтенсивні та екстенсивні параметри стану. Термодинамічні потенціали та їх залежність від параметрів стану системи. Нульовий принцип термодинаміки. Рівноважний стан. Температура. Принцип еквівалентності тепла й механічної роботи. Перший принцип термодинаміки. Внутрішня енергія термодинамічної системи. 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>		2	2	8
<p><b>Тема 2.</b> Фізичний зміст хімічного потенціалу. Співвідношення Дюгема-Гіббса. Кількість незалежних параметрів стану системи. Залежність термодинамічних потенціалів від кількості частинок. Необхідні та достатні умови термодинамічної рівноваги однокомпонентних ізольованих систем. Теплова рівновага. Механічна рівновага. Фазова рівновага. Неповна рівновага. Локальна рівновага. Достатні умови термодинамічної рівноваги. Рівновага за додаткових умов.</p>		2	2	8
<b>Тема 3.</b>		2	2	10

<p>Термодинамічний метод моделювання фізичних процесів. Основне рівняння термодинаміки. Співвідношення Максвелла. Термічне та калорічне рівняння стану, умова їх сумісності. Застосування термодинаміки для дослідження ідеального атомного газу та інших термодинамічних систем.</p> <p>Процес Джоуля-Томсона. Температура інверсії для газу ван дер Ваальса.</p> <p>Парадокс Гіббса.</p> <p>Третій принцип термодинаміки та наслідки з нього. Статистичний метод вивчення властивостей макроскопічних систем. Мікростани та макростан системи. Статистичний ансамбль. Усереднення за часом і за ансамблем. Ергодична гіпотеза. Густина ймовірності мікростанів. Рівняння Ліувілля. Мікроканонічний ансамбль. Мікроканонічний розподіл Гіббса.</p> <p>Термодинамічна вага стану системи із заданими внутрішньою енергією та кількістю частинок.</p> <p>Принцип Больцмана. Особливості дослідження класичних систем. Дослідження термодинамічних систем за допомогою принципу Больцмана.</p> <p>Парамагнетизм Кюрі. Системи з від'ємною абсолютною температурою. Застосування принципу Больцмана для дослідження властивостей ідеального атомного газу, інших класичних і квантових систем.</p>			
<p><b>Тема 4.</b></p> <p>Канонічний ансамбль. Канонічний розподіл Гіббса. Статистичний інтеграл і статистична сума. Урахування тотожності частинок. Зв'язок вільної енергії Гельмгольца з статистичним інтегралом і статистичною сумою. Дослідження термодинамічних систем методом канонічного ансамблю. Застосування цього методу для дослідження властивостей ідеального атомного газу, інших класичних і квантових систем.</p> <p>Властивості молекулярних газів</p> <p>Термодинамічні властивості невиродженого ідеального газу, що складається з двохатомних молекул. Електронна, поступальна, коливальна та оберտальна частини статистичної суми. Вплив оберտального й коливального рухів на теплоємність.</p>	2	4	10

<p><b>Тема 5.</b> Статистична теорія вироджених систем. Обчислення великої статистичної суми для ідеального газу квантових частинок з урахуванням особливостей хвильової функції. Розподіли Фермі-Дірака та Бозе-Ейнштейна. Невироджений газ, розподіл Максвелла-Больцмана. Хвильові та корпускулярні властивості частинок у вироджених та неvirоджених системах. Термодинамічні властивості електронного газу в металах. Густина електронних станів, енергія електронного газу, енергія Фермі, температурна залежність хімічного потенціалу, температура виродження. Теплоємність. Основні положення зонної теорії твердого тіла. Явище конденсації Бозе-Ейнштейна. Температура бозе-конденсації. Кількість бозе-частинок на основному енергетичному рівні, енергія, теплоємність і тиск бозе-газу.</p>	2	2	8
<p><b>Тема 6.</b> Термодинамічні властивості рівноважного електромагнітного випромінювання. Закони Стефана-Больцмана, Віна, Релея-Джінса. Формула Планка для спектральної густини енергії випромінювання. Теплоємність твердого тіла. Закон Дюлонга-Пти. Модель твердого тіла Ейнштейна. Теорія теплоємності твердого тіла Дебая.</p>	2	2	8
<p><b>Тема 7.</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. Статистична теорія флуктуацій. Флуктуації і кореляція термодинамічних величин у великому канонічному та канонічному ансамблях. Термодинамічна теорія флуктуацій. Ймовірність термодинамічних флуктуацій. Флуктуація температури та інших параметрів стану термодинамічних систем.</p>	2	2	8
<p><b>Всього:</b></p>	14	16	60
<p><b>6. Система оцінювання навчальної дисципліни</b></p>			

<p>Загальна система оцінювання навчальної дисципліни</p>	<p style="text-align: center;"><b>Теоретична підготовка</b></p> <p style="text-align: center;"><b>Високий, А, 91* – 100, відмінно - 5</b></p> <p>Студент має глибокі, міцні і систематичні знання всіх положень наукової методології, може не тільки вільно матеріалом, але й самостійно довести 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;</b></p> <p style="text-align: center;"><b>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</b></p> <p style="text-align: center;"><b>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</p>
--	---

	основними
Вимоги до письмової роботи	<p style="text-align: center;"><b>Високий, А, 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 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;</b></p> <p style="text-align: center;"><b>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</p>

	лише на відтворення основних положень.
Практичні (семінарські) заняття	-
Умови допуску до підсумкового контролю	<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" 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>
Підсумковий контроль	форма контролю - екзамен; форма здачі - письмова, усна.

### **7. Політика навчальної дисципліни**

Протягом семестру студент зобов'язаний відвідувати лекційні та практичні заняття, виконувати поточні завдання.

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 практичні роботи.

**Академічна доброчесність:**

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.

### **8. Рекомендована література**

#### **Базова:**

1. Landau L.D. & Lifschitz E.M. Statistical Physics. – Pergamon Press, 1980. – Vol. 5.
2. Кобилянський В.Б. Статистична фізика. – К.: Вища школа, 1972.
3. Єрмолаєв О.М., Рашба Г.І. Вступ до статистичної фізики і термодинаміки. – Харків: ХНУ, 2004.
4. Федорченко А. М. Квантова механіка, термодинаміка і статистична фізика // Теоретична фізика. — К. : Вища школа, 1993. — Т. 2. — 415 с.

#### **Допоміжна:**

1. Feynman R. P. Statistical Mechanics: A Set Of Lectures. – CRC Press, 1998.
2. Кобилянський В. Б. Методичні вказівки до розв'язування задач з термодинаміки (метод характеристичних функцій). – Львів: ЛДУ, 1985.

Інформаційні ресурси:

2. Eric Weisstein's World of Physics  
<http://scienceworld.wolfram.com/physics/> Wikipedia. <http://www.wikipedia.org>

**Викладач проф. Кланічка В.М.**