

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Львівський національний університет імені Івана Франка
Фізичний факультет
Кафедра теоретичної фізики імені професора Івана Вакарчука

Затверджено

На засіданні кафедри теоретичної фізики імені
професора Івана Вакарчука
фізичного факультету
Львівського національного університету
імені Івана Франка
(протокол № 1 від 30.08.2021 р.)

Завідувач кафедри  професор В. М. Ткачук

Силабус
з навчальної дисципліни «Термодинаміка і статистична фізика»,
що викладається в межах
ОПП «Середня освіта (Фізика)»
першого (бакалаврського) рівня вищої освіти
для здобувачів з спеціальності 014 Середня освіта
предметної спеціальності 014.08 Середня освіта. Фізика

Дисципліна вивчатиметься у 2023–24 н.р.

Львів 2021

Назва дисципліни	Термодинаміка і статистична фізика
Адреса викладання дисципліни	вул. Драгоманова, 12, 79005, м. Львів
Факультет та кафедра, за якою закріплена дисципліна	фізичний факультет, кафедра теоретичної фізики імені професора Івана Вакарчука
Галузь знань, шифр та назва спеціальності	01 Освіта/Педагогіка, 014.08 «Середня освіта. Фізика»
Викладач дисципліни	доцент кафедри теоретичної фізики імені професора Івана Вакарчука, канд.ф.-м.н., доц. Пастухов Володимир Степанович
Контактна інформація викладача	volodymyr.pastukhov@lnu.edu.ua; volodyapastukhov@gmail.com https://physics.lnu.edu.ua/employee/pastukhov-v-s
Консультації з дисципліни відбуваються	Консультації в день проведення лекцій та практичних занять (за попередньою домовленістю). Також можливі консультації через електронну пошту або он-лайн засобами Zoom, Microsoft Teams, Skype.
Сторінка дисципліни	https://physics.lnu.edu.ua/course/termodynamika-i-statfizyka-014-08-serednia-osvita-fizyka
Інформація про дисципліну	Дисципліна «Термодинаміка і статистична фізика» є нормативною дисципліною з спеціальності 014 Середня освіта для освітньої програми бакалавра, яка викладається в VIII семестрі в обсязі 3 кредитів (за Європейською Кредитно-Трансферною Системою ECTS).
Коротка анотація дисципліни	Дисципліну розроблено таким чином, щоб стисло подати основи термодинаміки рівноважних та необоротних процесів, статистичної механіки та елементів фізичної кінетики .
Мета та цілі дисципліни	Метою дисципліни є формування в майбутнього фізика-педагога цілісної картини фізичних явищ, пов'язаних із тепловою формою руху матерії.
Література для вивчення дисципліни	Базова: 1. <i>Ландау Л. Д. , Лифшиц Е. М.</i> Статистическая физика. Ч.1. – М.: “Наука”, 1995. 2. <i>Терлецкий Я. П.</i> Статистическая физика. – М.: “Высшая школа”, 1966. 3. <i>Квасников И. К.</i> Термодинамика и статистическая физика. – М.: МГУ, 1991. –Т.1; 1987. –Т.2. 4. <i>Базаров И. П.</i> Термодинамика. – М.: Высшая школа, 1991. 5. <i>Базаров И. П. . Геворкян Э. П, Николаев П. Н.</i> Термодинамика и статическая физика. Теория равновесных систем. М.: МГУ, 1986.

	<p>6. <i>Базаров И. П. . Геворкян Э. П, Николаев П. Н.</i> Неравновесная термодинамика и физиическая кинетика. М.: МГУ, 1989.</p> <p>7. <i>Ансельм А. И.</i> Основы статистической физики и термодинамики. – М.: “Наука”, 1973.</p> <p>8. <i>Єрмолаєв О.М., Раба Г.І.</i> Вступ до статистичної фізики і термодинаміки. – Харків: ХНУ, 2004.</p> <p>Допоміжна:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. <i>Киттель Ч.</i> Статистическая термодинаміка. – М.: Наука, 1977. 2. <i>Кубо Р.</i> Статистическая механіка. – М.: Мир, 1967. 3. <i>Кубо Р.</i> Термодинамика. – М.: Мир, 1970. 4. <i>Леонтович М.А.</i> Введение в термодинаміку. Статистическая физика. – М.: Наука, 1983. 5. <i>Самойлович А.Г.</i> Термодинамика и статическая физика. – М.: ГИТТЛ, 1953. 6. <i>Фейнман Р.</i> Статистическая механіка. – М.: Мир, 1975. <p>Інформаційні ресурси:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Eric Weisstein's World of Physics 2. Wikipedia. http://www.wikipedia.org
Обсяг курсу	<p>90 годин, з яких 65 годин аудиторних занять, з них 26 години лекцій, 39 годин практичних занять, та 25 години самостійної роботи.</p> <p>Тижневе навантаження складає 5 годин аудиторних занять та 1,9 години самостійної роботи.</p>
Очікувані результати навчання	<p>Курс формує такі загальні (ЗК) та спеціальні компетентності (СК):</p> <p><i>Загальні компетентності:</i></p> <p>ЗК3. Здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями.</p> <p>ЗК9. Навички використання інформаційних і комунікаційних технологій.</p> <p><i>Спеціальні компетентності:</i></p> <p>СК4. Здатність коректно застосовувати фізичні поняття, закони, принципи, теорії у поєднанні з необхідним математичним інструментарієм для пояснення фізичних явищ і процесів з використанням сучасних засобів навчання.</p> <p>СК12. Володіння базовими поняттями, аксіомами та постулатами загальної і теоретичної фізики, знання основних законів і принципів сучасної фізики та астрономії, вміння визначати межі їх застосування.</p> <p><i>Програмні результати навчання (ПРН), на досягнення яких спрямоване вивчення курсу:</i></p> <p>ПРН13. Знати та розуміти основні поняття, закони, теорії, загальну</p> <p>ПРН14. Аналізувати фізичні явища і процеси на основі фізичних законів, теорій, принципів, із застосуванням відповідних математичних методів.</p> <p>ПРН22. Розуміти місце фізики та астрономії у загальній системі знань про природу і суспільство та у розвитку суспільства, техніки і технологій.</p>

Ключові слова	термодинамічна системи; фазові переходи; статистичні ансамблі; ідеальні квантові гази; кінетичні коефіцієнти
Формат курсу	Очний
	проведення лекцій, практичних занять та консультації для засвоєння предмету
Теми	1. Основні положення та методи термодинаміки 2. Фазові переходи 3. Основні поняття та принципи статистичної механіки 4. Квантові гази 5. Теорія флюктуацій 6. Термодинамічний опис необоротних процесів
Підсумковий контроль, форма	Поточний контроль: усне та письмове опитування, модульні тести, оцінка практичних завдань. Підсумковий контроль: іспит в кінці 8-го семестру. Форма: письмово-усний.
Пререквізити	Для вивчення курсу студенти потребують знань із таких дисциплін: математичний аналіз, класична та квантова механіки, електродинаміка.
Навчальні методи та техніки, які будуть використовуватися під час викладання курсу	Лекції, розв'язування задач на дошці. Передбачено ілюстрування лекційного матеріалу схемами та рисунками.
Необхідне обладнання	персональний комп'ютер, загальноживані комп'ютерні програми й операційні системи, проектор.
Критерії оцінювання (окремо для кожного виду навчальної діяльності)	Оцінювання проводиться за 100-бальною шкалою. Бали нараховуються за таким співвідношенням: <ul style="list-style-type: none"> • робота на практичних заняттях під час семестру, 20% семестрової оцінки; максимальна кількість балів — 20; • контрольні роботи: 30% семестрової оцінки; максимальна кількість балів — 30; • результати іспиту: 50% семестрової оцінки; максимальна кількість балів — 50; Підсумкова максимальна кількість балів — 100. Письмові роботи: Очікується, що студенти виконають дві контрольні роботи. Академічна доброчесність: Очікується, що контрольні роботи студентів будуть оригінальними. Списування, втручання в роботу інших студентів становлять, але не обмежують, приклади можливої академічної недоброчесності. Виявлення ознак академічної недоброчесності в письмовій роботі студента є підставою для її незарахування викладачем, незалежно від масштабів плагіату чи обману. Відвідання занять є важливою складовою навчання. Очікується, що всі студенти відвідають усі лекції і практичні заняття курсу. Студенти мають інформувати викладача про неможливість відвідати заняття. У будь-якому випадку студенти зобов'язані дотримуватися усіх строків, визначених для виконання усіх видів письмових робіт, передбачених курсом.

	<p>Література. Усю література, яку студенти не зможуть знайти самостійно, буде надано викладачами виключно в освітніх цілях без права її передавання третім особам. Студенти заохочуються до використання також й іншої літератури та джерел, яких немає серед рекомендованих.</p> <p>Політика виставлення балів. Враховуються бали, набрані за роботу на практичних заняттях, контрольних роботах та на іспиті. При цьому обов'язково враховуються присутність на заняттях та активність студента під час заняття; недопустимість пропусків та запізень на заняття; користування мобільним телефоном, планшетом чи іншими мобільними пристроями під час заняття в цілях, не пов'язаних із навчанням; списування та плагіат; несвоєчасне виконання поставленого завдання і т. ін.</p> <p>Жодні форми порушення академічної доброчесності не толеруються.</p>
<p>Орієнтовний перелік питань на іспит</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Термодинамічні системи. Стан термодинамічної рівноваги. Рівноважні та нерівноважні процеси. 2. Внутрішня енергія термодинамічної системи, робота, теплота. Термічне і калоричне рівняння стану. 3. Перше начало термодинаміки. Теплоємності. 4. Вихідне формулювання другого начала термодинаміки. Оборотні та необоротні процеси. 5. Основне рівняння термодинаміки для рівноважних процесів. Зв'язок між термічним і калоричним рівнянням стану. 6. Третє начало термодинаміки. Недосяжність абсолютного нуля температури. 7. Умови рівноваги у багатофазній багатокомпонентній системі, правило фаз Гіббса. 8. Класифікація Еренфеста фазових переходів. Фазові переходи першого роду, рівняння Клапейрона–Клаузіуса. 9. Фазовий перехід у надпровідний стан у відсутності та при наявності магнітного поля. 10. Опис стану системи багатьох частинок в класичній і квантовій механіці, поняття мікростану системи багатьох частинок. 11. Статистичні ансамблі. Усреднення за часом і за статистичним ансамблем. 12. Мікроканонічний ансамбль, термодинамічні функції мікроканонічного ансамблю. 13. Канонічний ансамбль, термодинамічні функції канонічного ансамблю. 14. Великий канонічний ансамбль, термодинамічні функції великого канонічного ансамблю. 15. Термодинамічна еквівалентність ансамблів. Статистичний оператор. 16. Умова класичності системи багатьох частинок, температура виродження. Типи систем і взаємодій. 17. Термодинамічні функції сильно виродженого фермі–газу. 18. Термодинамічні функції сильно виродженого бозе-газу нижче температури конденсації.

	<p>19. Рівноважне випромінювання: формула Планка, закон зміщення Віна, закон Стефана–Больцмана.</p> <p>20. Напівтермодинамічна теорія флюктуацій: флюктуації в мікrokанонічному ансамблі, флюктуації в канонічному ансамблі.</p> <p>21. Властивості кінетичних коефіцієнтів. Співвідношення Онсагера для кінетичних коефіцієнтів.</p>
Опитування	Анкету-оцінку з метою оцінювання якості курсу буде надано по завершенню курсу.

Таблиця 1

Схема курсу «Термодинаміка і статистична фізика»

Тижні	Тема занять (перелік питань)	Форма діяльності та обсяг годин	Термін виконання
1	1. Основні положення та методи термодинаміки. Основні етапи розвитку термодинаміки і статистичної фізики. Термодинамічні системи. Стан термодинамічної рівноваги. Рівноважні та нерівноважні процеси. Внутрішня енергія термодинамічної системи, робота, теплота. Термічне і калоричне рівняння стану. Перше начало термодинаміки. Теплоємності.	Лекції — 2 год, практичні — 3 год, самостійна робота — 2 год	1 тиждень
2	1. Основні положення та методи термодинаміки. Вихідне формулювання другого начала термодинаміки. Оборотні та необоротні процеси. Ентропія і термодинамічна температура. Основне рівняння термодинаміки для рівноважних процесів. Зв'язок між термічним і калоричним рівнянням стану. Парадокс Гіббса. Друге начало термодинаміки для нерівноважних процесів.	Лекції — 2 год, практичні — 3 год, самостійна робота — 2 год	1 тиждень
3	1. Основні положення та методи термодинаміки. Закон зростання ентропії. Нерівність Клаузіуса. <i>Цикл Карно і теореми Карно.</i> Третє начало термодинаміки. Недосяжність абсолютного нуля температури. Метод термодинамічних потенціалів. Рівняння Гіббса-Гельмгольца. Термодинамічні потенціали систем зі змінною кількістю частинок. <i>Термодинаміка діелектриків і магнетиків.</i>	Лекції — 2 год, практичні — 3 год, самостійна робота — 2 год	1 тиждень

Тижні	Тема занять (перелік питань)	Форма діяльності та обсяг годин	Термін виконання
4	2. Фазові переходи. Умови рівновага термодинамічних систем. Фази і компоненти. Умови рівноваги у багатофазній багатокомпонентній системі, правило фаз Гіббса. Термодинамічні нерівності. <i>Принцип Ле Шательє.</i>	Лекції — 2 год, практичні — 3 год, самостійна робота — 1 год	1 тиждень
5	2. Фазові переходи. Класифікація Еренфеста фазових переходів. Фазові переходи першого роду, рівняння Клапейрона–Клаузіуса. Правило Максвелла для фазових переходів першого роду. Фазові переходи другого роду, рівняння Еренфеста. Фазовий перехід у надпровідний стан у відсутності та при наявності магнітного поля. <i>Напівфеноменологічна теорія Ландау фазових переходів другого роду. Поверхневі явища. Критичні явища.</i>	Лекції — 2 год, практичні — 3 год, самостійна робота — 2 год	1 тиждень
6	3. Основні поняття та принципи статистичної механіки. Опис стану системи багатьох частинок в класичній і квантовій механіці, поняття мікростану системи багатьох частинок. Статистичні ансамблі. Усереднення за часом і за статистичним ансамблем. Ентропія в статистичній фізиці.	Лекції — 2 год, практичні — 3 год, самостійна робота — 2 год	1 тиждень
7	3. Основні поняття та принципи статистичної механіки. Мікροканонічний ансамбль, термодинамічні функції мікροканонічного ансамблю. Канонічний ансамбль, термодинамічні функції канонічного ансамблю.	Лекції — 2 год, практичні — 3 год, самостійна робота — 2 год	1 тиждень
8	3. Основні поняття та принципи статистичної механіки Великий канонічний ансамбль, термодинамічні функції великого канонічного ансамблю. Термодинамічна еквівалентність ансамблів. <i>Розподіли Бозе–Айнштайна, Фермі–Дірака, Максвелла–Больцмана для ідеального газу.</i>	Лекції — 2 год, практичні — 3 год, самостійна робота — 2 год	1 тиждень

Тижні	Тема занять (перелік питань)	Форма діяльності та обсяг годин	Термін виконання
9	3. Основні поняття та принципи статистичної механіки. Статистичний оператор. Умова класичності системи багатьох частинок, температура виродження. Типи систем і взаємодій. <i>Вільна енергія класичного ідеального газу.</i> Слабо неідеальний класичний газ з нейтральних частинок, віріальний розклад та рівняння Ван дер Ваальса.	Лекції — 2 год, практичні — 3 год, самостійна робота — 2 год	1 тиждень
10	4. Квантові гази. Ідеальний фермі-газ: властивості розподілу Фермі-Дірака, хімічний потенціал повністю виродженого фермі-газу, термодинамічні функції сильно виродженого фермі-газу. <i>Електронний газ в металах.</i>	Лекції — 2 год, практичні — 3 год, самостійна робота — 2 год	1 тиждень
11	4. Квантові гази. Ідеальний бозе-газ: властивості розподілу Бозе-Айнштайна, температура бозе-конденсації. Термодинамічні функції сильно виродженого бозе-газу нижче температури конденсації. Рівноважне випромінювання: формула Планка, закон зміщення Віна, закон Стефана-Больцмана. <i>Термодинамічні функції рівноважного випромінювання.</i>	Лекції — 2 год, практичні — 3 год, самостійна робота — 2 год	1 тиждень
12	5. Теорія флюктуацій. Напівфеноменологічна теорія флюктуацій: флюктуації в мікροканонічному ансамблі, флюктуації в канонічному ансамблі. Розподіл Гауса для малих флюктуацій. Флюктуації основних термодинамічних величин. <i>Розсіяння світла на флюктуаціях густини.</i>	Лекції — 2 год, практичні — 3 год, самостійна робота — 2 год	1 тиждень
13	6. Термодинамічний опис необоротних процесів. Необоротні процеси: основні поняття, процес теплопровідності у твердому тілі, потоки, термодинамічні сили, кінетичні коефіцієнти. Рівняння балансу ентропії. Виробництво ентропії. Властивості кінетичних коефіцієнтів. Співвідношення Онсагера для кінетичних коефіцієнтів. <i>Кінетичні коефіцієнти для дифузії, теплопровідності, дифузійного переносу тепла та термодифузії.</i>	Лекції — 2 год, практичні — 3 год, самостійна робота — 2 год	1 тиждень