

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ І. І. МЕЧНИКОВА
Кафедра фізики та астрономії



“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Перший проректор

Майя НІКОЛАЄВА

2024 р.

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

ОК 11 «Молекулярна фізика»

Рівень вищої освіти	перший (освітньо-професійний)
Галузь знань	10 – Природничі науки
Спеціальність	104 - Фізика та астрономія
Освітньо-професійна програма	Фізика та астрономія


ОНУ
Одеса
2024


Робоча програма навчальної дисципліни «Молекулярна фізика». – Одеса: ОНУ, 2024. – 21с.

Розробник: Гоцульський Володимир Якович, доктор фізико-математичних наук, професор, завідувач кафедри фізики та астрономії

Робоча програма затверджена на засіданні кафедри фізики та астрономії ФМФІТ

Протокол №1 від «29» серпня 2024 р.

Завідувач кафедри  Володимир ГОЦУЛЬСЬКИЙ

Погоджено із гарантом ОПП «Фізика та астрономія»  Юрій НІЦУК

Схвалено навчально-методичною комісією (НМК) факультету математики, фізики та інформаційних технологій

Протокол № 1 від « 4 » вересня 2024 р.

Голова НМК  Володимир ГОЦУЛЬСЬКИЙ

Переглянуто та затверджено на засіданні кафедри фізики та астрономії

Протокол № ___ від « ___ » _____ 20__ р.

Завідувач кафедри _____ Володимир ГОЦУЛЬСЬКИЙ

Переглянуто та затверджено на засіданні кафедри фізики та астрономії

Протокол № ___ від « ___ » _____ 20__ р.

Завідувач кафедри _____ Володимир ГОЦУЛЬСЬКИЙ

1. Опис навчальної дисципліни

Найменування показників	Галузь знань, Спеціальність, спеціалізація, рівень вищої освіти	Характеристика навчальної дисципліни
		Очна (денна) форма навчання
Загальна кількість кредитів – 10 годин – 300 змістовних модулів - 2	Галузь знань 10 – Природничі науки Спеціальність: 104 – Фізика та астрономія Рівень вищої освіти: <u>Перший (бакалаврський)</u>	Обов'язкова дисципліна
		Рік підготовки:
		1-й
		Семестр
		2-й
		Лекції
		54 год.
		Практичні, семінарські
		48 год.
		Лабораторні
		48 год.
		Самостійна робота
		150 год.
Форма підсумкового контролю: іспит		

2. Мета та завдання навчальної дисципліни

Кінцева мета засвоєння дисципліни «Молекулярна фізика» спрямована на формування у студентів діалектичного світогляду. вміння використовувати фізичні закони для пояснення явищ природи. Вивчення дисципліни передбачає отримання знань та вмінь, які необхідні спеціалісту в його майбутній професійній діяльності, в тому числі, орієнтованих на здатність фахівців розв'язувати складні фізичні задачі та проблеми, пов'язані з дослідженням об'єктів та явищ навколишнього середовища. 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

Завдання

- ознайомити студента з загальними фізичними явищами, методами їх спостереження, принципами та законами фізики, фізичними та математичними моделями, методиками експериментального дослідження та вимірювання фізичних величин, з основами опрацювання експериментальних даних;
- сформувати у студентів навички та вміння використовувати фізичну та математичну наукову термінологію, свідомо відтворювати відомі фізичні моделі та ідеї;
- розвинути вміння самостійно вирішувати поставлені задачі, представляти результати в якісній та кількісній мірі, аналізувати отримані результати;
- сформувати у студента чітке уявлення про межі застосування фізичних моделей та гіпотез;
- розвинути у студентів допитливість та інтерес до знання явищ природи;
- навчити студентів використовувати отримані знання для застосування їх на практиці.

Процес вивчення дисципліни спрямований на формування елементів наступних **компетентностей**.

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:

К07. Навички здійснення безпечної діяльності.

Спеціальні (фахові) компетентності:

К16. Знання і розуміння теоретичного та експериментального базису сучасної фізики та астрономії

К24. Здатність працювати з джерелами навчальної та наукової інформації.

К25. Здатність самостійно навчатися і опановувати нові знання з фізики, астрономії та суміжних галузей.

К26. Розвинуте відчуття особистої відповідальності за достовірність результатів досліджень та дотримання принципів академічної доброчесності разом з професійною гнучкістю.

К27. Усвідомлення професійних етичних аспектів фізичних та астрономічних досліджень.

К28. Орієнтація на найвищі наукові стандарти – обізнаність щодо фундаментальних відкриттів та теорій, які суттєво вплинули на розвиток фізики, астрономії та інших природничих наук.

Що забезпечують наступні **програмні результати навчання:**

ПРО1. 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.

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.

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.

ПР11. Вміти упорядковувати, тлумачити та узагальнювати одержані наукові та практичні результати, робити висновки.

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.

ПР14. Знати і розуміти основні вимоги техніки безпеки при проведенні експериментальних досліджень, зокрема правила роботи з певними видами обладнання та речовинами, правила захисту персоналу від дії різноманітних чинників, небезпечних для здоров'я людини

ПР22. Розуміти значення фізичних досліджень для забезпечення сталого розвитку суспільства.

ПР23. Розуміти історію та закономірності розвитку фізики та астрономії.

ПР24. Розуміти місце фізики та астрономії у загальній системі знань про природу і суспільство та у розвитку суспільства, техніки і технологій.

ПР25. Мати навички самостійного прийняття рішень стосовно своїх освітньої траєкторії та професійного розвитку.

3. Зміст навчальної дисципліни

Змістовий модуль 1.

Тема 1. Предмет і методи молекулярної фізики.

Предмет молекулярної фізики. Попередні відомості про агрегатний стан речовини і області їх існування. Молекулярні сили. Зв'язок властивостей речовини з атомно-молекулярною структурою. Необхідність статистичного опису системи, що складається з величезного числа частинок. Співвідношення статистичних і динамічних характеристик. Мікростани і макростани статистичної системи й співвідношення між ними.

Тема 2. Елементи теорії ідеальних газів.

Ідеальний газ як модель найпростішої статистичної системи. Вираз тиску газу через середню кінетичну енергію. Основне рівняння кінетичної теорії газів. Рівняння Менделєєва-Клапейрона. Закон Дальтона. Поняття парціального

тиску. Газодинамічне тлумачення абсолютної температури. Стала Больцмана. Вимірювання макроскопічних параметрів газу. Термометричне тіло. Шкала температур. Ідеальний газ як термометричне тіло; шкала температур.

Тема 3. Основні поняття теорії ймовірності. Статистичний розподіл

Визначення ймовірності. Додавання ймовірностей. Множення ймовірностей. Статистична незалежність подій. Комбінаторне визначення ймовірності. Густина ймовірності. Середнє за часом і середнє за ансамблем та їх обчислення. Поняття середніх значень. Вираз середніх через ймовірності можливих значень величин. Рівноважний стан системи. Зв'язок між середнім за часом і середнім за ансамблем у рівноважному стані - ергодична гіпотеза. Принцип детальної рівноваги.

Розподіл ідеального газу у заданому об'ємі. Обчислення ймовірності того, що у заданій частині об'єму знаходиться n молекул, якщо у всьому об'ємі знаходиться N молекул. Основне співвідношення між ймовірністю макростану і числом мікростанів, з допомогою яких реалізується даний макростан. Рівноважний стан як найбільш імовірний. Поняття про розподіл ймовірностей і основні властивості біноміального розподілу. Рівномірна густина ідеального газу в об'ємі як найбільш ймовірна. Флуктуації і середня густина в частинах об'єму і їх залежність від величин цих частин.

Тема 4. Розподіл молекул за швидкостями.

Максвеллівський розподіл молекул за швидкостями. Характерні швидкості розподілу Максвелла. Експериментальне визначення середніх швидкостей молекул. Характеристика наближення розподілу швидкостей та розподілу Максвелла. Розподіл газу у полі потенційних сил - розподіл Больцмана. Барометрична формула. Зв'язок між розподілами Максвелла і Больцмана. Розподіл Гіббса. Межі використання розподілів. Досліди Перрена. Експериментальне визначення сталої Больцмана. Броунівський рух. Теорія Ейнштейна-Смолуховського. Визначення числа Авогадро.

Тема 5. Основні характеристики і закономірності молекулярного руху.

Зіткнення молекул. Модель газу з неточковими молекулами. Середня швидкість, середня частота зіткнень, середня довжина вільного пробігу, поперечний газокінетичний переріз, їх експериментальне визначення. Розподіл молекул за довжинами вільного пробігу. Розсіювання молекулярного пучка. Поглинання пучка середовищем. Середня довжина вільного пробігу в певному напрямку.

Процеси переносу у газах. Фізична суть процесів переносу - дифузія, теплопровідність і внутрішнє тертя. Основні експериментальні дані по простим явищам переносу. Стаціонарні і нестаціонарні процеси і їх рівняння. Час релаксації. Елементарна теорія явищ переносу. Вираз коефіцієнтів дифузії, теплопровідності й в'язкості через величини, що характеризують молекулярний рух. Зв'язок між коефіцієнтами. Вимірювання коефіцієнтів. Поняття про перехресні явища переносу. Самодифузія та взаємодифузія. Термодифузія.

Фізичні явища в ультрарозріджених газах. Теплоперенос при малих тисках. Посудини Дьюара. Необхідність розглядання не пружних зіткнень молекул

газу з стінкою. Молекулярна течія газу. Теплова ефузія. Зустрічна ізотермічна ефузія двох газів. Ефузне розділення ізотопів

Тема 6. Класичні та квантові моделі теплоємності для ідеальних, реальних та конденсованих молекулярних систем.

Рівнорозподіл кінетичної енергії за ступенями вільного руху молекул. ϵ - теорема Больцмана (випадки поступальних, обертальних та коливальних ступеней вільності). Внутрішня енергія газу. Теплоємність газів. Недоліки класичної теорії теплоємності. Поняття про квантову теорію теплоємності. Теплоємність водню. “заморожування” ступенів вільності. Теплоємність твердих тіл. Теплоємність реальних газів

Змістовий модуль 2.

Тема 7. Основи термодинаміки.

Метод термодинаміки і його порівняння зі статистичним методом. Термодинамічна рівновага. Різновиди процесів. Внутрішня енергія. Робота. Кількість теплоти. Функції стану та процесу. Перший закон термодинаміки. Застосування першого закону термодинаміки до розглядання різних процесів в ідеальному газі (ізотермічного, ізобаричного, ізохоричного, адіабатичного й загального випадку політропічного процесу).

Оборотні та необоротні процеси. Рівноважні та не рівноважні процеси. Цикли. Цикл Карно і його ККД. Аналіз можливості перетворення тепла в роботу. Теорема Карно. Другий закон термодинаміки. Термодинамічна шкала температур.

Від’ємні абсолютні температури. Поняття про теплопередачу. Вирівнювання температур. Закон охолодження Ньютона. Конвективний теплообмін. Поняття про теорію подібності. Сучасні задачі екології.

Тема 8. Статистичний характер термодинамічних законів.

Нерівність Клаузіуса. Ентропія як функція стану. Закон зростання ентропії. Ентропія як міра якості енергії. Обчислення зміни ентропії в основних різновидах термодинамічних процесів. Статистичний характер другого закону термодинаміки. Зв’язок ентропії і термодинамічної ймовірності. Формула Больцмана. Об’єктивний характер статистичної закономірності. Приклад флуктуації макроскопічних параметрів. Границі застосування другого закону термодинаміки. Демон Максвелла та «теплова смерть» Всесвіту. Теорема Нернста і висновки із неї. Недосяжність абсолютного нуля температури.

Тема 9. Реальні гази.

Відхилення стану газів від ідеальності. Дослідницькі ізотерми Амага. Міжмолекулярні взаємодії як причина відхилення поведінки реальних газів від законів ідеального газу. Найпростіші потенціали міжмолекулярної взаємодії. Водневий зв’язок. Рівняння Ван-дер-Ваальсу і його аналіз. Метастабільні стани. Фізичний зміст сталих Ван-дер-Ваальса. Властивості насиченої пари і рідини, що з нею знаходиться в контакту. Фазові перетворення. Критичні явища. Критична температура. Порівняння з експериментом. Зведене рівняння Ван-дер-Ваальсу. Закон відповідних станів.

Метод термодинамічних потенціалів. Термодинамічні потенціали та їх поведінка в рівноважних процесах. Рівняння Максвелла. Принцип ле-Шательє-Брауна.

Метастабільні стани. Крива кипіння. Внутрішня енергія реального газу. Ефект Джоуля - Томсона. Температура інверсії. Скраплення газів. Основи вакуумної техніки.

Тема 10. Фазові переходи.

Фазові перетворення у чистих речовинах та сумішах. Фазові перетворення першого і другого роду. Рівняння Клапейрона-Клаузіуса. Плавлення та кристалізація. Переохолоджена рідина. Випаровування твердих тіл. Поняття фази та правило фаз Гіббса.

Кристалічні та аморфні стани речовини. Моно- і полікристали. Елементи симетрії кристалів. Просторова решітка і модель ідеального Кристалу. Решітки Браве. Точкові дефекти в кристалах. Дислокації. Дефекти і міцність. Механічні і термічні властивості тіл. Теплоємність кристалів. Ангармонічна модель і теплове розширення. Дифузія та інші явища переносу в твердих тілах.

Поняття про будову і властивості рідких кристалів. Области застосування.

Тема 11. Особливості рідкого стану.

Характеристика рідкого стану. Моделі рідини. Ближній і дальній порядок. Молекулярна взаємодія і тепловий рух. В'язкість. Стисливість. Особливості явищ теплопереносу у рідинах. Випаровування і кипіння рідини. Перегрів рідини. Бульбашкові камери.

Явища, що обумовлені наявністю вільної поверхні рідини. Умови рівноваги на межі двох рідин і на межі рідина і тверде тіло. Змочування. Тиск під скривленою поверхнею рідини. Формула Лапласа. Капілярні явища. Флотація.

Рідкі розчини. Розчинність газів, рідин і твердих тіл в рідинах. Ад- та абсорбція. Пружність насиченої пари над розчинами. Суміш рідин і їх кипіння. Ебуліоскопія. Кріоскопія. Осмотичні явища. Закони Рауля.

Тема 12. Дисперсні системи і високомолекулярні сполуки.

Дисперсні системи. Стійкість. Коагуляція. Елементарні процеси - випаровування, сублімація, конденсація, плавлення. Високомолекулярні сполуки. Особливості будови і фізичні властивості.

4. Структура навчальної дисципліни

Назви тем	Кількість годин				
	Очна денна форма				
	Усьог о	Лек.	Пр.	Лаб.	СР
1	2	3	4	5	7
Змістовий модуль 1.					
Тема 1. Предмет і методи молекулярної фізики.	26	6	4	4	12

Тема 2. Елементи теорії ідеальних газів.	24	4	4	4	12
Тема 3.	24	4	4	4	12
Тема 4. Основні поняття теорії ймовірності. Статистичний розподіл	24	4	4	4	12
Тема 5. Розподіл молекул за швидкостями.	26	6	4	4	12
Тема 6. Класичні та квантові моделі теплоємності для ідеальних, реальних та конденсованих молекулярних систем.	24	4	4	4	12
Змістовий модуль 2.					
Тема 7. Основи термодинаміки	24	4	4	4	12
Тема 8. Статистичний характер термодинамічних законів.	24	4	4	4	12
Тема 9. Реальні гази.	26	6	4	4	12
Тема 10. Фазові переходи	24	4	4	4	12
Тема 11. Особливості рідкого стану.	24	4	4	4	15
Тема 12. Дисперсні системи і високомолекулярні сполуки.	24	4	4	4	15
Усього	300	54	48	48	150

5. Теми семінарських занять

Семінарські заняття не передбачені навчальним планом.

6. Теми практичних занять

№	Назва теми	Кількість годин
1	Макропараметри. Основне рівняння кінетичної теорії газів. Закон Дальтона.	3

2	Поняття середніх значень. Поняття про розподіл ймовірностей і основні властивості біноміального розподілу.	3
3	Максвеллівський розподіл молекул за швидкостями. Характерні швидкості розподілу Максвелла. .	3
4	Розподіл газу у полі потенційних сил - розподіл Больцмана. Барометрична формула.	3
5	Зіткнення молекул. Розсіювання молекулярного пучка. Середня довжина вільного пробігу в певному напрямку. Процеси перенесення у газах. Стаціонарні і нестаціонарні процеси і їх рівняння. Час релаксації.	4
6	Внутрішня енергія газу. Теплоємність газів. Теплоємність реальних газів.	4
7	Робота. Кількість теплоти. Застосування першого закону термодинаміки до розглядання різних процесів в ідеальному газі (ізотермічного, ізобаричного, ізохоричного, адіабатичного й загального випадку політропічного процесу).	6
8	Цикли. Другий закон термодинаміки. Обчислення зміни ентропії в основних різновидах термодинамічних процесів.	4
9	Рівняння Ван-дер-Ваальсу і його аналіз. Метастабільні стани.	4
10	Внутрішня енергія реального газу. Ефект Джоуля - Томсона.	8
11	Фазові перетворення першого і другого роду. Рівняння Клапейрона-Клаузіуса. Кристалічні та аморфні стани речовини. Дифузія та інші явища переносу в твердих тілах	8
12	Особливості явищ теплоперенесення у рідинах. Випаровування і кипіння рідини.	4
13	Формула Лапласа. Капілярні явища. Осмотичні явища. Закони Рауля.	8
	Усього	48

7. Теми лабораторних занять

№	Назва теми	Кількість годин
1	Визначення газових сталих.	2

2	Дослідження Броунівського руху	4
3	Визначення показника Пуассона	6
4	Дослідження закономірностей розподілу частоти фіксації космічного випромінювання	4
5	Визначення вологості повітря. Визначення коефіцієнта дифузії.	4
6	Визначення в'язкості газів.	4
7	Дослідження теплообміну в процесі розігріву	4
8	Дослідження залежності коефіцієнта в'язкості рідини від температури та концентрації	4
9	Визначення коефіцієнта теплопровідності гуми	4
10	Визначення коефіцієнта поверхневого натягу (метод Кантора-Ребіндера) в залежності від температури та концентрації розчинів.	2
11	Визначення коефіцієнта поверхневого натягу методом підйому в капілярних трубках	2
12	Адсорбція	2
13	Дослідження плавлення сплава Вуду.	2
14	Вивчення залежності тиску насиченої пари від температури(діаграми стану)	2
	Усього	48

8. Самостійна робота

№	Назва теми	Кількість годин
1	Основні поняття теорії ймовірності. Комбінаторне визначення ймовірності. Густина ймовірності. Середнє за часом і середнє за ансамблем та їх обчислення. Поняття середніх значень.	12
2	Принцип детальної рівноваги. Броунівський рух. Теорія Ейнштейна-Смолуховського.	12
3	Поняття про квантову теорію теплоємності. Теплоємність водню. «Заморожування» ступенів вільності. Теплоємність твердих тіл.	12
4	Фізичні явища в ультрарозріджених газах. Теплоперенесення при малих тисках. Посудини Дьюара. Термоси. Необхідність розглядання	15

	непружних зіткнень молекул газу з стінкою.	
5	Від'ємні абсолютні температури. Поняття про теплопередачу. Вирівнювання температур. Закон охолодження Ньютона. Конвективний теплообмін. Поняття про теорію подібності. Сучасні задачі екології.	10
6	Характеристика рідкого стану. Моделі рідини. Ближній і дальній порядок. Молекулярна взаємодія і тепловий рух. В'язкість. Стисливість. Особливості явищ теплопереносу у рідинах.	10
7	Випаровування і кипіння рідини. Перегрів рідини. Бульбашкові камери. Розчинність газів, рідин і твердих тіл в рідинах. Ад- та абсорбція. Пружність насиченої пари над розчинами. Суміш рідин і їх кипіння. Ебуліоскопія. Кріоскопія. Осмотичні явища. Закони Рауля.	15
8	Кристалічні та аморфні стани речовини. Моно- і полікристали. Елементи симетрії кристалів. Просторова решітка і модель ідеального кристалу.	15
9	Решітки Браве. Точкові дефекти в кристалах. Дислокації. Дефекти і міцність. Механічні і термічні властивості тіл. Теплоємність кристалів. Анггармонічна модель і теплове розширення. Дифузія та інші явища переносу в твердих тілах.	15
10	Фазові переходи другого роду. Властивості рідкого гелію.	15
11	Дисперсні системи і високомолекулярні сполуки. Дисперсні системи. Стійкість. Коагуляція. Елементарні процеси - випаровування, сублімація, конденсація, плавлення.	15
12	Високомолекулярні сполуки. Особливості будови і фізичні властивості.	15
	Усього	150

До самостійної роботи відноситься:

- [1] – підготовка до лекцій, практичних, семінарських, лабораторних занять;
- [2] – написання рефератів;
- [3] – підготовка презентації

9. Методи навчання

Під час вивчення навчальної дисципліни використовують такі форми роботи – лекція, лабораторна робота, самостійна робота. Головним словесним методом навчання є лекція. Під час проведення лекцій використовуються наступні методи навчання: пояснювально-ілюстративний метод, або інформаційно-рецептивний; репродуктивний метод (репродукція - відтворення); метод проблемного викладу; частково-пошуковий, або евристичний метод.

Під час лабораторних занять використовуються наступні методи навчання частково-пошуковий, або евристичний метод; дослідницький, при захисті лабораторних робіт та індивідуальних завдань використовується дискусійний метод. Під час самостійної роботи використовується дослідницький метод.

10. Форми контролю та методи оцінювання

Поточний контроль здійснюється за результатами виконання 2 контрольних робіт студентів, захисту індивідуального завдання, тестових завдань. Оцінюється також активність студента в процесі занять: усне опитування, написання звітів до лабораторних робіт, виконання практичних вправ; розв'язання задач. Підсумковий семестровий контроль (іспит).

Критерії оцінювання виконання самостійної роботи

Результати індивідуального завдання представляються у вигляді доповіді (7-10 хв), що супроводжується презентацією (5-7 слайдів).

Критеріями оцінювання є: повнота представленого матеріалу, якість доповіді та презентації, відповідей на запитання викладача та однокурсників.

Критерії оцінювання виконання лабораторних робіт

Студент повинен виконати всі лабораторні роботи. За виконання розрахунків та оформлення роботи згідно вимог методичних вказівок до лабораторних робіт нараховується 5 балів за кожну роботу. При захисті роботи, за кожну правильну відповідь на запитання додається 2 бали. За неповну відповідь, відповідь, що містить несуттєві помилки додається 1 бал. За неправильну відповідь, або її відсутність бали не додаються. Максимальна кількість балів за лабораторну роботу не повинна перевищувати 12 балів. При виставленні підсумкової оцінки береться середня арифметична оцінка за всіма лабораторними роботами.

Критерії оцінювання виконання практичних занять

Оцінюється активність студента на практичних заняттях в процесі розв'язування задач біля дошки, а також результати виконання домашніх завдань. За кожну тему здобувач може отримати до 1 балу. Таким чином, максимальна сумарна кількість балів, отримана за практичні заняття змістового модулю, становить 7 балів.

Критерії оцінювання підсумкового контролю

Підсумковий семестровий контроль (іспит) проводиться в усній формі. Екзаменаційний білет містить два теоретичних питання, кожне з яких оцінюється окремо за 15 бальною шкалою.

Критерії оцінювання теоретичного питання:

- повна розгорнута відповідь – 15 балів;
- повна, але не розгорнута відповідь – 12 балів;
- повна, але не розгорнута відповідь, яка містить незначну помилку чи суперечність – 10 балів, за кожну наступну незначну помилку чи суперечність знімається 1 бал;
- неповна відповідь, яка не містить критичних помилок чи суперечностей – 8 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.

Кількість балів, що здобувач отримав на іспиті, 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 (п.12).

11. Питання для поточного та підсумкового контролю.

Для кожної теми формами контролю навчальних здобутків студентів можуть бути поточний контроль: конспект лекцій; оцінка активності роботи на лекціях; аудиторне поточне опитування; домашні завдання. Підсумковий семестровий контроль (іспит).

Контрольні питання:

- 1) Температурні шкали. Термометрія.
- 2) Вивести базове рівняння МКТ.
- 3) У чому різниця термодинамічного та статистичного підходу до опису системи?
- 4) Ергодічна гіпотеза.
- 5) Розподіл Гіббса. Обчислення середніх значень фізичних величин. Статистична сума. Виведення розподілу Максвелла із використанням розподілу Гіббса.
- 6) Виведення розподілу Больцмана із використанням розподілу Гіббса. Теорема про рівнорозподіл енергій по ступенях вільності молекул.
- 7) Основні експериментальні дані про теплоємності розрідженого газу. Межі застосування рівнорозподіл енергій по ступенях вільності. Залежність теплоємності від температури.
- 8) Флуктуації. Флуктуації в ідеальному газі. Межі чутливості вимірювальних приладів.
- 9) 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.
- 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) Властивості ідеального газу. Рівняння Менделєєва-Клапейрона. Ізопроцеси.
- 13) Термодинамічні системи та їх стани. Термодинамічні процеси. Адіабатний процес. Рівняння адіабати. Політропний процес. Рівняння політропи.
- 14) Робота в термодинамічних процесах. Кількість теплоти. Внутрішня енергія термодинамічної системи. Перший закон термодинаміки.
- 15) Другий закон термодинаміки. Ентропія. Зміна ентропії при ізотермічному та ізохоричному процесах в ідеальному газі. Формула Больцмана
- 16) Властивості ідеального газу. Рівняння Менделєєва-Клапейрона. Ізопроцеси.
- 17) Термодинамічні системи та їх стани. Термодинамічні процеси. Адіабатний процес. Рівняння адіабати. Політропний процес. Рівняння політропи.
- 18) Робота в термодинамічних процесах. Кількість теплоти. Внутрішня енергія термодинамічної системи. Перший закон термодинаміки.
- 19) Другий закон термодинаміки. Ентропія. Зміна ентропії при ізотермічному та ізохоричному процесах в ідеальному газі. Формула Больцмана.
- 20) Колові процеси. Цикл Карно. Теплові машини. Коефіцієнт корисної дії теплових машин. Холодильники, теплові насоси та їх ефективність. Перша теорема Карно. Термодинамічна шкала температур.
- 21) Друга теорема Карно. Нерівність Клаузіуса. Зміна ентропії в ізольованих термодинамічних системах. Вільна енергія термодинамічної системи.
- 22) Термодинамічні потенціали. Незалежні параметри стану термодинамічної системи та їх кількість. Співвідношення Максвелла.
- 23) Критерії стійкості станів термодинамічних систем. Напрямок необоротних термодинамічних процесів в ізольованих термодинамічних системах. Теорема Нернста (третій принцип термодинаміки)
- 24) Отримати рівняння політропічного процесу для ідеального газу. Рівняння адіабати для ідеального газу.
- 25) Перевірка теореми Карно для ідеального газу.
- 26) Виконати перетворення Лежандра від вільної енергії Гельмгольца до інших термодинамічних потенціалів
- 27) Вивести теорему розподілу енергії по ступеням свободи.
- 28) Обчислити середню швидкість молекул газу. Обчислити середню довжину хвилі де-Бройля. Знайти середньоквадратичну флуктуацію швидкості в газі.
- 29) Принцип локальної рівноваги. Пересічні явища переносу. Термодифузія. Елементи термодинаміки незворотних процесів.
- 30) Реальні гази. Рівняння стану реальних газів та їх аналіз. Критичний стан. Здатність реального газу до скраплення. Рівняння Камерлінг-Оннеса.
- 31) 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.
- 32) Поділ кристалів за типами міжчастинкової взаємодії. Гармонічна модель кристалу. Теорії теплоємності кристалів (Дюлонг-Пті, Ейнштейн, Дебай).

- 33) Кристалічний та аморфний стан речовини. Елементи симетрії кристалів. Решітка Браве. Кристалічні класи та сингонії.
- 34) Анггармонічна модель кристалу. Точкові дефекти. Дифузія в кристалах. Дислокації. Теплопровідність твердих тіл. Поняття про будову та властивості полімерів. Розтягнення полімерного ланцюга.
- 35) Рідкий стан речовини. Сучасні уявлення про будову рідин. Поверхневий натяг в рідинах. Термодинаміка поверхневого натягу. Поверхнево-активні речовини.
- 36) Явища на контактi рідини з різними тілами. Адсорбція. Змочувальність. Тиск під вигнутою поверхнею рідини. Формула Лапласа. Капілярність. Рідкі кристали.
- 37) Фазові перетворення. Фазові перетворення першого роду в індивідуальних речовинах. Умови фазової рівноваги. Рівняння Клапейрона-Клаузіуса. Діаграми станів чистих речовин.
- 38) Діаграма станів та фізичні властивості ізотопів гелія.
- 39) 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.
- 40) Діаграми випаровування, кристалізації, возгонки та змішування двохкомпонентних систем. Правило фаз Гіббса. Діаграми станів бінарних сумішей. Азеотропні суміші. Евтектичні суміші.
- 41) Використовуючи основні положення молекулярно-кінетичної теорії, вивести закон Стефана-Больцмана.
- 42) Обчислити середньоквадратичні флуктуації.
- 43) Ефект Джоуля-Томпсона в реальних газах.
- 44) Вивести закон відповідних станів.
- 45) Знаходження констант Ван-дер-Ваальса.
- 46) Метастабільні стани.
- 47) Отримати рівняння адіабати для твердого тіла.
- 48) Дефекти кристалічних ґраток. Точкові дефекти. дислокації.
- 49) Рідкі кристали.
- 50) Рівняння балансу ентропії.
- 51) Критичні явища змішування в бінарних розчинах. Подвійна критична точка.
- 52) Поняття про фрактали. Фрактальна структура полімерів.

Проблемні теми для обговорення (теми індивідуальних завдань)

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

При проведенні фізичного практикуму роботи охоплюють всю тематику курсу.

Контрольні питання для лабораторних робіт:

I. Визначення сталої Больцмана й числа Лошмідта за допомогою електролізу

1. На чому заснований метод визначення газових сталих у даній роботі? Чи відомі Вам інші методи визначення R , K , і N_A ?
2. Що називається універсальною газовою сталою (R)? Чому дорівнює величина R , в яких одиницях вона вимірюється? Який фізичний зміст цієї сталої?
3. Що таке число Авогадро (N_A)? Чи залежить число Авогадро від роду речовини, від стану, у якому перебуває ця речовина? Виведіть формулу для розрахунку визначення числа Авогадро в даній роботі.
4. Що називається сталою Больцмана (K)? Чому вона дорівнює та в яких одиницях вимірюється? Який фізичний зміст цієї константи? Напишіть зв'язок універсальної газової сталої з сталою Больцмана.
5. Що таке число Лошмідта? Чи зміниться його величина при зміні температури? Як у даній роботі визначається його величина?
6. Який газ виділяється на катоді? Як розрахувати число молекул газу, що виділився на електроді за певний проміжок часу? Які фактори впливають у даній роботі на точність визначення цієї величини?
7. Що таке парціальний тиск? Як розрахувати тиск газу, що виділився на електроді?
8. В чому полягає механізм електролітичної дисоціації?
9. Виведіть рівняння кінетичної теорії газів, що визначає величину тиску молекул ідеального газу на стінку посудини. При яких допущеннях виводиться це рівняння?
10. В чому полягає явище електролізу? Які реакції протікають на електродах пристрою?

II. Вивчення броунівського руху. Визначення сталої Больцмана.

1. Який рух називають броунівським? У чому причина такого характеру руху? Що таке флуктуації? Від чого залежить величина флуктуації? Флуктуацією якого параметра системи викликаний рух броунівської частинки?
2. Чому теорія броунівського руху, розроблена Ейнштейном-Смолуховським, дозволила використати це явище для підтвердження молекулярно-кінетичної теорії? Виведіть рівняння Ейнштейна.
3. Чи залежить броунівський рух від роду речовини частинок? від густини речовини? від форми й розміру часток? від в'язкості середовища? від температури?
4. У чому полягає метод, що дозволяє спостерігати настільки дрібні частки як броунівські? Чи можна шляхом прямих вимірів визначити розмір броунівської частинки?
5. У II початку термодинаміки висувається твердження про неможливість вічного двигуна II роду. Чи суперечить йому рух броунівській частинки?

III. Визначення коефіцієнта дифузії водяних парів у повітрі.

1. Які процеси в газах поєднуються загальним поняттям "явища переносу"? Що спільного у всіх цих процесах? Одержіть загальне рівняння переносу. Які умови накладають на газ при виведенні цього рівняння? Чи є процеси переносу оборотними?
2. У чому сутність явища дифузії? Запишіть рівняння, що визначає дифузію ідеального газу. Який фізичний зміст коефіцієнта дифузії? У яких одиницях він вимірюється? Який зв'язок між коефіцієнтами динамічної й кінематичної в'язкості з коефіцієнтом дифузії?
3. Одержіть із загального рівняння переносу рівняння дифузії. Поясніть механізм виникнення дифузії в газах. Поясніть, як змінюється коефіцієнт дифузії газу при зміні тиску. Запишіть зв'язок між коефіцієнтами в'язкості, теплопровідності й дифузії газу.
4. На чому заснований метод визначення дифузії газу в даній роботі?

IV. Визначення залежності в'язкості газу від температури

1. У чому сутність явища внутрішнього тертя (в'язкості)? Запишіть рівняння, що визначає силу внутрішнього тертя (закон Ньютона). Який фізичний зміст коефіцієнта внутрішнього тертя? У яких одиницях він вимірюється? Який зв'язок між коефіцієнтами динамічної й кінематичної в'язкості?
2. Одержіть із загального рівняння переносу рівняння в'язкості. Поясніть механізм виникнення в'язкості в газах. Від чого залежить коефіцієнт динамічної в'язкості газу?
3. Поясніть, як змінюється коефіцієнт в'язкості газу при зміні тиску, якщо газ перебуває: у стані, далекому від фізичного вакууму; у стані фізичного вакууму.
4. Як змінюється коефіцієнт в'язкості газу при зміні температури, якщо газ перебуває: у стані, далекому від фізичного вакууму; у стані фізичного вакууму?
5. Порівняйте залежності в'язкостей рідини та газу від температури.
6. На чому заснований метод визначення в'язкості газу? Запишіть формулу Пуазейля.
7. Які з величин, що входять у формулу Пуазейля для розрахунку коефіцієнта в'язкості, вносять найбільший вклад у похибку вимірів?

V. Визначення відношення питомих теплоємностей $\frac{C_p}{C_v}$ газі

1. Що називається теплоємністю (питомої, молярної)? У яких одиницях вимірюється теплоємність?
2. Одержіть рівняння Майера, що зв'язує молярні теплоємності ідеального газу при постійному тиску C_p і постійному об'ємі C_v . Чому відношення C_p/C_v – не може бути менше одиниці?

3. Що розуміють під числом ступенів свободи руху молекул? Виразіть відношення C_p/C_v через число ступенів свободи молекул ідеального газу.
4. Які процеси відбуваються в газі в даній роботі? Які закони характеризують ці процеси? Виведіть формулу для розрахунку відношення C_p/C_v .
5. Який процес називається політропічним? Виведіть рівняння політропи. Розгляньте всі окремі випадки політропічних процесів. Яким шляхом у даній роботі здійснюється процес, близький до адіабатичного? Які вимоги пред'являються при цьому до установки? Як у даній роботі змінюється температура газу при адіабатичних процесах?

VI. Внутрішнє тертя в рідинах. Температурна залежність коефіцієнта в'язкості рідини. Визначення енергії активації

1. Що таке в'язкість? Поясніть механізм виникнення в'язкості в рідинах. Зрівняйте з механізмом в'язкості в газах. Запишіть загальне рівняння переносу стосовно до явища в'язкості.
2. Як залежить в'язкість рідини від температури? Якою формулою досить добре описується залежність динамічної в'язкості рідини від температури? Чим пояснити різну залежність в'язкості рідин і газів від температури?
3. Яка будова капілярного віскозиметра? Чим створюється різниця тисків на кінцях капіляра? Чому у віскозиметр необхідно наливати однакові об'єми як досліджуваної, так і стандартної рідини?
4. З якою метою коефіцієнт в'язкості визначається відносним методом? Як змінюється при цьому точність вимірів? Одержіть формулу для розрахунку коефіцієнтів в'язкості рідини капілярним віскозиметром. Яка умова повинна бути виконана, щоб до моменту початку вимірів плин рідини, що витікає з певного об'єму, набуло стаціонарний характер?

VII. Визначення коефіцієнта теплопровідності гуми.

1. Яке явище називається теплопровідністю? Чому явища теплопровідності, в'язкості й дифузії поєднуються під однією загальною назвою - явища переносу?
2. Запишіть закон Фур'є. Що таке градієнт температури? Чому дорівнює потік тепла, якщо градієнт температури дорівнює нулю? Який фізичний зміст коефіцієнта теплопровідності? У яких одиницях він виражається? Чи є теплопровідність, а також інші процеси переносу (в'язкість і дифузія) оборотними процесами?
3. Поясніть механізм теплопровідності у твердих тілах. Порівняйте з механізмом теплопровідності в газах і рідинах. Чим пояснити високу теплопровідність металів у порівнянні з неметалами?
4. На чому заснований метод визначення коефіцієнта теплопровідності в даній роботі? Виведіть формулу для розрахунку коефіцієнта теплопровідності. Які закони при цьому використовуються?

5. Від чого залежить швидкість зростання температури? Чому швидкість зростання температури варто визначати в той момент, коли температура води в калориметрі збігається з температурою навколишнього повітря?

VIII. Вивчення поверхневих явищ у рідині

1. У чому причина особливих властивостей поверхневого шару? Порівняйте енергію молекули в поверхневому шарі з енергією, яка належить їй в об'ємі? Чому крапля рідини приймає сферичну форму?
2. Який зміст поверхневого натягу σ ? У яких одиницях вимірюється σ ?
3. Від чого залежить додатковий тиск, обумовлений скривленням поверхні? Запишіть формулу Лапласа. Як спрямовані сили тиску, викликані скривленням поверхні?
4. Поясніть ідею методу максимального тиску в бульбашці? У чому перевага цього методу? Чому метод максимального тиску в бульбашці варто рекомендувати для виміру поверхневого натягу розчинів?
5. Чому кінчик капіляра повинен ледь торкатися поверхні рідини?
6. З якою метою в роботі використовується порівняльний метод? Від чого залежить константа приладу?
7. Яка речовина називається поверхнево-активною? поверхнево-інактивною?
8. Чому поверхневий натяг розчинів залежить від концентрації? Як змінюється поверхневий натяг зі збільшенням концентрації розчину?
9. Як залежить поверхневий натяг від температури? Чому дорівнює поверхневий натяг при критичній температурі?

IX. Визначення температури й питомої теплоти плавлення речовини

1. Що називається фазою в термодинаміці? Що таке фазова рівновага та фазові переходи? Яка різниця між фазовими переходами першого роду й фазовими переходами другого роду? Перелічить найпростіші фазові переходи й дайте їм визначення. Що називається схованою теплотою фазового переходу? У яких одиницях вона вимірюється? Чим визначається напрямок фазового переходу?
2. Які тіла називаються кристалічними? Як змінюється в часі температура кристалічного зразка при його нагріванні? У чому полягає процес плавлення? процес кристалізації? Що називається питомою теплотою плавлення? питомою теплотою кристалізації?
3. На чому заснований метод визначення питомої теплоти плавлення речовини в даній роботі? Виведіть формулу для розрахунку питомої теплоти фазового переходу. Які закони при цьому використовуються?
4. Виведіть рівняння Клайперона-Клаузіуса. Які величини зв'язують це рівняння? Запишіть рівняння Клайперона-Клаузіуса стосовно до процесу переходу твердого тіла в рідину. Як залежить температура плавлення твердих тіл від тиску?
5. Зобразіть на площині P, T діаграму стану однокомпонентної речовини. Які ділянки діаграми називаються: кривою плавлення, випарювання,

сублімації? Де починаються й закінчуються ці криві? Що таке потрійна точка?

6. Який стан речовини називається метастабільним? Приведіть приклади метастабільних станів. Із чим пов'язане існування метастабільних станів? Що таке переохолоджена рідина? Які фактори сприяють перебуванню рідини в переохолодженому стані, чи можна одержати перегріте тверде тіло?
7. Як змінюється ентропія речовини при її плавленні? кристалізації?

X. Визначення залежності тиску насиченої пари від температур

1. Що називають фазою системи? Що таке фазові переходи й фазова рівновага? У чому полягає різниця між фазовими переходами першого й другого роду? Приведіть приклади. Що називається теплотою фазового переходу? У яких одиницях вона вимірюється?
2. Що називається насиченою парою? Як змінюється тиск насиченої пари зі зміною температури? Зобразіть на площині P, T криву рівноваги пари й рідини. Де починається й закінчується ця крива? Зобразіть область рівноваги рідини й пара на площині P, V .
3. Яка температура називається критичною? Що таке критичний стан? Чи можливий безперервний перехід з газоподібного стану в рідкий, минаючи стадію двофазного стану? Як його здійснити? Яким явищем супроводжується зникнення двофазного стану рідина-газ у критичній точці? Чи можна перевести речовину з газоподібного стану в рідкий при температурі вище критичної?
4. Що називається випарюванням? Чому випарювання може відбуватися при будь-якій температурі? Що таке питома теплота випарювання? Від чого вона залежить? Чому дорівнює теплота випарювання при критичній температурі?
5. Що називається кипінням? Чим кипіння відрізняється від випарювання? Як температура кипіння залежить від зовнішнього тиску? Чи можна, знімаючи криву кипіння, одержати криву рівноваги рідин-пар?
6. Рідина переходить у пару тієї ж температури. Як при цьому міняється питомий термодинамічний потенціал, ентропія, внутрішня енергія?
7. Запишіть рівняння Клайперона-Клаузіуса для однокомпонентної двофазної системи. Які величини зв'язують це рівняння. Застосуєте рівняння Клайперона-Клаузіуса до процесу переходу рідини в пару.
8. Одержіть функціональну залежність тиску насиченої пари від температури. При яких припущеннях виводиться ця залежність?
9. Як у даній роботі одержують експериментальну криву залежності тиску насиченої пари бензолу P від температури T ? Покажіть, як на підставі цієї кривої розрахувати питому теплоту випарювання бензолу?

XI. Вивчення статистичних закономірностей випадкових процесів

1. Які помилки при вимірюваннях називаються систематичними? Випадковими? Чи можна виключити випадкові помилки?
2. Як знайти відносну частоту події в серії дослідів?
3. Дайте статистичне визначення ймовірності.

4. Що таке густина імовірності? Який її фізичний зміст?
5. Що являє собою гістограма? Як побудувати гістограму?
6. Що називається кривою розподілу? Дайте визначення математичного очікування або генерального середнього.
7. Запишіть аналітичне вираження закону Гауса. Які особливості кривої розподілу, що підкоряється закону Гауса (нормальному закону)?
8. Що таке дисперсія? Який фізичний зміст дисперсії кривої розподілу?

11. Розподіл балів поточного контролю

Для кожної теми формами контролю навчальних здобутків студентів є поточний контроль: конспект з лекцій; оцінка активності роботи на лекціях; аудиторне поточне опитування; домашні завдання, контрольні роботи.

Бали для оцінки знань студентів за поточний контроль за кожну тему розраховуються таким чином:

№	Вид роботи	Форма контролю	Число балів
1.	Лекції	Контрольна робота за модулем	12
2.	Практичні	Робота у аудиторії Домашні завдання	0.5 0.5
3.	Лабораторні роботи	Поточний контроль (усний). Звіти за виконання лабораторних робіт (письмові)	1 1
4.	Індивідуальні		5

12. Загальна схема нарахування балів

Підсумкові бали для оцінки знань студентів за змістовний модуль розраховуються таким чином:

Поточний контроль, самостійна робота, індивідуальні завдання								Іспит	Сума балів	
Змістовний модуль 1 Поточний контроль на практичних заняттях								70	30	100
T1	T2	T3	T4	T5	T6					
1	1	1	1	1	1		12			
Змістовний модуль 2 Поточний контроль на практичних заняттях								70	30	100
T7	T8	T9	T10	T11	T12					
1	1	1	1	1	1		12			

При оцінюванні в балах рівня засвоєння матеріалу використовуються загальні критерії оцінювання навчальних досягнень здобувачів вищої освіти:

Підсумковий семестровий контроль (іспит) проводиться в усній формі. Екзаменаційний білет містить чотири теоретичних питання, кожне з яких оцінюється окремо за 10 бальною шкалою

Критерії оцінювання теоретичного питання:

- повна розгорнута відповідь – 10 балів;
- повна, але не розгорнута відповідь – 8 балів;
- повна, але не розгорнута відповідь, яка містить незначну помилку чи суперечність - 6 балів,
 - за кожную наступну незначну помилку чи суперечність знімається 1 бал;
 - неповна відповідь, яка не містить критичних помилок чи суперечностей – 5 балів,

за кожную наступну незначну помилку чи суперечність знімається 1 бал;

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

Кількість балів, що здобувач отримав на іспиті, 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.

Шкала оцінювання: національна та ECTS

Сума балів за всі види навчальної діяльності	Оцінка за національною шкалою		
	Оцінка ЄКТС	для екзамену, курсового проекту (роботу), практики	для заліку
90 – 100	A	відмінно	зараховано
85-89	B	добре	
75-84	C		
70-74	D	задовільно	
60-69	E		
35-59	FX	незадовільно	не зараховано
1-34	F		

13. Навчально-методичне забезпечення

Навчально-методичне забезпечення: робоча програма навчальної дисципліни <http://phys.onu.edu.ua/uk/robochi-prohramy-navchalnykh-dystsyplin>

силабус, конспекти лекцій; презентації; методичні вказівки до виконання лабораторних робіт, первинний інструктаж з техніки безпеки, порядок виконання лабораторної роботи, інструкції до приладів:

14. Рекомендована література

Основна

1. Козицький С.В., Золотко А.Н., Молекулярна фізика, Курс загальної фізики у 6 томах, Одеса, Астропринт, 2011.
2. Булавін Л.А., Гаврюшенко Д.А., Сисоєв В.М., Молекулярна фізика, Київ, Знання. 2007
3. Горбачук І.М., Горбачук І.Т., Луцик П.П. Курс загальної фізики. Т.1. Механіка. Молекулярна фізика та термодинаміка, Київ, Техніка, 1999, 537с.
4. Arieh Ben-Naim, Diego Casadei. Modern Thermodynamics, WSPC, 2016.
5. Дутчак В.П., Кучерук І.М. Загальна фізика: Фізичні основи механіки. Молекулярна фізика та термодинаміка. Київ., Вища школа, 1993.

Додаткова

1. К.М. Копійка, Д.Д. Поліщук, Збірник задач з фізики, Навчальний посібник за рекомендацією МОНУ(Лист №2/36 від 11.01.2001р.), Одеса, Астропринт, 2001.
2. 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.
3. Л.А. Булавін, В.М. Сисоєв. Фізика фазових переходів. Київ: ВПЦ Київський університет, 2010.

15. Електронні інформаційні ресурси

1. Wolfram Demonstrations Project FLUID MECHANICS:
<https://demonstrations.wolfram.com/topic.html?topic=Fluid+Mechanics&limit=20>
Wolfram Demonstrations Project THERMODYNAMICS:
<https://demonstrations.wolfram.com/topic.html?topic=Thermodynamics&limit=20>
2. <https://lib.onu.edu.ua>