



ПО 10.2. Загальна фізика. Частина 2. Молекулярна фізика Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	<i>Перший (бакалаврський)</i>
Галузь знань	<i>Е Природничі науки, математика та статистика</i>
Спеціальність	<i>Е5 Фізика та астрономія</i>
Освітня програма	<i>Моделювання фізичних процесів</i>
Статус дисципліни	<i>Нормативна</i>
Форма навчання	<i>Денна (змішана)</i>
Рік підготовки, семестр	<i>2 курс, осінній семестр</i>
Обсяг дисципліни	<i>210 годин (7 кредитів)</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>Екзамен / МКР</i>
Розклад занять	<i>Час і місце проведення аудиторних занять викладені на сайті https://schedule.kpi.ua/</i>
Мова викладання	<i>Українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	<i>к.т.н., доцент Ольга Олександрівна Штофель, o.shtof@gmail.com</i>
Розміщення курсу	<i>Платформа Sikorsky-distance "Загальна фізика. Частина 2. Молекулярна фізика" - код курсу – 6048;</i>

Програма навчальної дисципліни

1. Опис навчальної дисципліни, її мета, предмет вивчення та результати навчання

Курс фізики є фундаментальною основою для вивчення цілого ряду дисциплін професійної та практичної підготовки студентів фізико-математичного напрямку підготовки. В процесі вивчення дисципліни «Загальна фізика» студенти набудуть ґрунтовне розуміння законів природи, покладених в основу фізичних процесів при вирішенні завдань з моделювання та опису фізики процесу.

Молекулярна фізика – розділ фізики, який вивчає будову та властивості речовин виходячи з молекулярно-кінетичних уявлень, що ґрунтуються на тому, що всі тіла складаються з молекул (атомів), що перебувають у безперервному хаотичному русі.

Закономірності в поведінці макроскопічних систем, які залежать від властивостей частинок системи, особливостей їх руху та усереднених значень динамічних характеристик, вивчаються статистичними методами.

Метою дисципліни «Загальна фізика. Частина 2. Молекулярна фізика» є формування у студентів матеріалістичного світогляду, засвоєння фізичних законів і вміння використовувати їх для пояснення явищ природи на молекулярному рівні, набуття досвіду в проведенні відповідних експериментальних досліджень, аналізі результатів спостережень та модельних даних, побудові фізичних моделей, розуміння поточних проблем в інших галузях науки і техніки та формування **компетентностей**, відповідно до освітньо-професійної програми «Комп'ютерне моделювання фізичних процесів» першого «бакалаврського» рівня вищої освіти за спеціальністю Е5 – Фізика та астрономія:

ЗК1. Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу.

ФК01. Знання і розуміння теоретичного та експериментального базису сучасної фізики та астрономії.

ФК02. Здатність використовувати на практиці базові знання з математики як математичного апарату фізики і астрономії при вивченні та дослідженні фізичних та астрономічних явищ і процесів.

ФК03. Здатність оцінювати порядок величин у різних дослідженнях, так само як точності та значимості результатів.

ФК04. Здатність працювати із науковим обладнанням та вимірювальними приладами, обробляти та аналізувати результати досліджень.

ФК05. Здатність виконувати обчислювальні експерименти, використовувати чисельні методи для розв'язування фізичних та астрономічних задач і моделювання фізичних систем.

ФК06. Здатність моделювати фізичні системи та астрономічні явища і процеси.

ФК07. Здатність використовувати базові знання з фізики та астрономії для розуміння будови та поведінки природних і штучних об'єктів, законів існування та еволюції Всесвіту.

ФК08. Здатність виконувати теоретичні та експериментальні дослідження автономно та у складі наукової групи.

ФК09. Здатність працювати з джерелами навчальної та наукової інформації.

ФК10. Здатність самостійно навчатися і опановувати нові знання з фізики, астрономії та суміжних галузей.

ФК13. Орієнтація на найвищі наукові стандарти – обізнаність щодо фундаментальних відкриттів та теорій, які суттєво вплинули на розвиток фізики, астрономії та інших природничих наук.

ФК14. Здатність здобувати додаткові компетентності через вибіркові складові освітньої програми, самоосвіту, неформальну та інформальну освіту.

В наслідок вивчення навчальної дисципліни студенти набудуть таких загальних **програмних результатів навчання**:

ПРН01. Знати, розуміти та вміти застосовувати на базовому рівні 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.

ПРН02. Знати і розуміти фізичні основи астрономічних явищ: аналізувати, тлумачити, пояснювати і класифікувати будову та еволюцію астрономічних об'єктів Всесвіту (планет, зір, планетних систем, галактик тощо), а також основні фізичні процеси, які відбуваються в них.

ПРН03. Знати і розуміти експериментальні основи фізики: аналізувати, описувати, тлумачити та пояснювати основні експериментальні підтвердження існуючих фізичних теорій.

ПРН05. Знати основні актуальні проблеми сучасної фізики та астрономії.

ПРН06. Оцінювати вплив новітніх відкриттів на розвиток сучасної фізики та астрономії.

ПРН07. Розуміти, аналізувати і пояснювати нові наукові результати, одержані у ході проведення фізичних та астрономічних досліджень відповідно до спеціалізації.

ПРН08. Мати базові навички самостійного навчання: вміти відшуковувати потрібну інформацію в друкованих та електронних джерелах, аналізувати, систематизувати, розуміти, тлумачити та використовувати її для вирішення наукових і прикладних завдань.

ПРН09. 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.

ПРН10. Вміти упорядковувати, тлумачити та узагальнювати одержані наукові та практичні результати, робити висновки.

ПРН11. Вміти упорядковувати, тлумачити та узагальнювати одержані наукові та практичні результати, робити висновки.

ПРН12. Вміти представляти одержані наукові результати, брати участь у дискусіях стосовно змісту і результатів власного наукового дослідження.

ПРН13. 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.

ПРН17. Знати і розуміти роль і місце фізики, астрономії та інших природничих наук у загальній системі знань про природу та суспільство, у розвитку техніки й технологій та у формуванні сучасного наукового світогляду.

ПРН22. Розуміти значення фізичних досліджень для забезпечення сталого розвитку суспільства.

ПРН23. Розуміти історію та закономірності розвитку фізики та астрономії.

ПРН24. Розуміти місце фізики та астрономії у загальній системі знань про природу і суспільство та у розвитку суспільства, техніки і технологій.

ПРН25. Мати навички самостійного прийняття рішень стосовно своїх освітньої траєкторії та професійного розвитку.

2. Пререквізити та постреквізити дисципліни (місце в структурно-логічній схемі навчання за відповідною освітньою програмою)

Дисципліна базується на знаннях з фізики та математики, засвоєних в рамках загальної середньої освіти. Вивчення даної дисципліни базується на освітніх компонентах «Математичний аналіз. Частина 1. Диференціальне та інтегральне числення функцій однієї змінної», «Математичний аналіз. Частина 2. Диференціальне та інтегральне числення функцій багатьох змінних» та «Загальна фізика. Частина 1. Механіка», які студенти опановують під час навчання на першому курсі. Результати навчання, отримані при вивченні курсу молекулярної фізики, використовуються в освітніх компонентах «Загальна фізика. Частина 3. Електрика та магнетизм», «Загальна фізика. Частина 4. Оптика», «Загальна фізика. Частина 5. Фізика атома», «Теоретична фізика. Електродинаміка», «Теоретична фізика. Квантова механіка», «Теоретична фізика. Термодинаміка та статистична фізика», «Педагогічна практика», «Астрофізика / Фізика Всесвіту».

3. Зміст навчальної дисципліни

На вивчення навчальної дисципліни відводиться 210 годин/ 7 кредитів ECTS.

Рекомендований розподіл навчального часу.

Всього		Розподіл навчального часу за видами занять					
Кредитів	Годин	Лекції	Практичні заняття	Лабораторні заняття	СРС		
					Підготовка до екзамену	МКР	Підготовка до занять
7	210	44	30	30	30	10	66

Розділи і теми курсу:

Розділ 1. Вступ та методи молекулярно-кінетичної теорії (МКТ)

1.1. Вступ до курсу

- Основні означення і поняття.
- Предмет і методи молекулярної фізики.
- Системи багатьох змінних.
- Феноменологічний, динамічний та статистичний методи у фізиці.
- Співвідношення між термодинамікою та статистичною фізикою.

1.2. Фізичні основи МКТ

- Розвиток уявлень про молекулярну будову речовини.
- Основні фізичні величини: тиск газу, температура.
- Основне рівняння молекулярно-кінетичної теорії газів та наслідки з нього.
- Експериментальні підтвердження МКТ: броунівський рух, дифузія, молекулярні пучки.

Розділ 2. Ідеальний газ та мікроскопічна статистика

2.1. Рівняння стану та закони ідеального газу

- Термодинамічні системи і перетворення в них.
- Модель ідеального газу та його основні закони.
- Рівняння стану ідеального газу.

2.2. Статистичні розподіли

- Ступені вільності молекул та рівномірний розподіл енергії за ними.
- Розподіл молекул за швидкостями (закон Максвелла).
- Газ у полі земного тяжіння: барометрична формула та закон Больцмана.

2.3. Молекулярні зіткнення та явища перенесення

- Молекулярні рухи, середнє число зіткнень, середня довжина вільного пробігу, ефективний діаметр молекул.
- Явища перенесення в газах: дифузія, внутрішнє тертя (в'язкість), теплопровідність.
- Особливості явищ перенесення в ультрарозріджених газах.

Розділ 3. Основи феноменологічної термодинаміки

3.1. Перший закон термодинаміки

- Основні поняття і означення термодинаміки.
- Математичне вираження функцій стану: внутрішня енергія.
- Функції процесу: робота газу при зміні об'єму, кількість теплоти.
- Формулювання та вираз першого закону термодинаміки для ідеального газу, його застосування до різних ізопроцесів.

3.2. Другий та третій закони термодинаміки

- Оборотні та необоротні процеси.
- Цикл Карно, його ККД та теорема Карно. Принцип роботи теплових машин.
- Поняття про ентропію: характеристичні функції, залежність ентропії від параметрів стану.
- Зростання ентропії при дифузії газів, парадокс Гіббса.
- Третій закон термодинаміки та недосяжність абсолютного нуля.
- Вступ до термодинаміки необоротних процесів.

Розділ 4. Термодинамічні потенціали та умові рівноваги

4.1. Методи термодинаміки

- Метод циклів та метод термодинамічних потенціалів.
- Рівняння Гіббса-Гельмгольца.
- Системи зі змінним числом частинок та хімічний потенціал.

4.2. Загальні умови рівноваги та стійкості

- Рівновага ізольованих систем та систем у термостаті (при постійному об'ємі, тиску або хімічному потенціалі).
- Умови рівноваги двохфазної однокомпонентної системи.
- Умови стійкості й рівноваги однорідної системи та принцип Ле Шательє-Брауна.

Розділ 5. Фазові переходи та реальні системи

5.1. Фазові переходи та критичні явища

- Умови рівноваги двох фаз речовини та її стійкість.
- Фазові переходи першого роду, крива рівноваги фаз і рівняння Клапейрона-Клаузіуса.
- Критична точка та критичні явища.

5.2. Реальні гази та їх застосування

- Врахування міжмолекулярної взаємодії в реальних газах.
- Фізичний зміст поправок Ван-дер-Ваальса та порівняння теоретичних наближень з емпіричним рівнянням Ван-дер-Ваальса.
- Ефект Джоуля-Томсона: охолодження газу при оборотному та необоротному адіабатичному розширенні, зрідження газів.

5.3. Елементи статистичної теорії

- Обчислення термодинамічних функцій класичного ідеального газу.
- Статистичний інтеграл для реального газу малої густини в наближенні парної взаємодії.
- Наближені вирази ентропії, енергії та тиску реального газу.

4. Навчальні матеріали та ресурси

Базова література

1. Шкурдода Ю. О., Пасько О. О., Коваленко О. А. Молекулярна фізика та термодинаміка. Сумський державний університет, 2021
2. Савельєв І. Молекулярна фізика та термодинаміка. Курс загальної фізики в 5 т. Том 3, Книжкова Майстерня, Україна, 2021
3. Курс загальної фізики : навчальний посібник / В.М. Вакалюк, А.В. Вакалюк ; Міністерство освіти і науки України, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу. - Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2021
4. Фізика : навчальний посібник / К.В. Авдонін, О.В. Ковальчук ; Міністерство освіти і науки України, Київський національний університет технологій та дизайну. - Київ : КНУТД, 2021.
5. Збірник задач з фізики : навчальний посібник / І.Є. Лопатинський, І.Р. Зачек, С.О. Юр'єв, О.Б. Біленька [та 14 інших] ; Міністерство освіти і науки України, Національний університет "Львівська політехніка". - Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2021. - 242 с.
6. Русаков В.Ф., Русакова Н.М. Курс загальної фізики. Молекулярна фізика і термодинаміка: навчальний посібник. Вінниця: ДонНУ ім Василя Стуса, 2020. – Частина II. – 109с.

Допоміжна література

1. Волчанський О.В. Термодинаміка і статистична фізика: навчальний посібник для студентів фізичних спеціальностей педагогічних навчальних закладів /Волчанський О.В., Подопрігора Н.В., Гур'євська О.М. – Кіровоград: РВВ КДПУ ім. В. Винниченка, 2012. – 428 с.
2. Якібчук П.М., Клим М.М. Молекулярна фізика. Підручник. – Львів : ЛНУ імені Івана Франка. 2013. – 584 с.
3. R. Fazely. Foundation of Physics for Scientists and Engineers: Volume I 1st edition., 2015. – 205 p.
4. Daniel Gebreselasie. Mechanics and Oscillations: University Physics I: Notes and exercises 1 st edition. ISBN 978-87-403-1164-8, 2015. – 319 p.
5. Raymond A. Serway and John W. Jewett, Jr. Physics for Scientists and Engineers with Modern Physics, Eighth Edition. USA, 2010. – 1558 p.
6. Шиманський Ю. І., Шиманська О. Т. Молекулярна фізика: Навч. посіб. для студ. фіз. спец. ун-тів. - К.: Вид. дім «Києво-Могилянська академія», 2007.-462 с.: іл.
7. Булавін Л.А., Гаврюшенко Д.А., Сисоев В.М. Молекулярна фізика: Підручник. – К.: Знання, 2006. – 567 с.
8. Кучерук І.М., Горбачук І.Т., Луцик П.П. Загальний курс фізики: Навч. посібник для студентів вищих техн. і пед. закладів освіти. – К.:Техніка, 1999

5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Лекційні заняття

№ п/п	Теми лекцій, перелік основних питань	Рекомендації щодо засвоєння
1. Вступ і фізичні основи МКТ		
1-2	Предмет і методи молекулярної фізики. Системи багатьох змінних. Динамічний, статистичний та феноменологічний методи у фізиці.	Опрацювання лекційного матеріалу, робота із формульником та із літературними джерелами за темою.
3-4	Співвідношення термодинаміки та статистичної фізики. Еволюція уявлень про будову речовини. Основні фізичні величини. Тиск газу та температура з погляду МКТ. Виведення основного рівняння МКТ газів.	Опрацювання лекційного матеріалу, робота із формульником та із літературними джерелами за темою.
5-6	Основні наслідки з основного рівняння МКТ. Експериментальні підтвердження МКТ: Броунівський рух та його фізична природа.	Опрацювання лекційного матеріалу, робота із формульником та із літературними джерелами за темою.
7-8	Дифузія та прямі вимірювання швидкостей молекул (молекулярні пучки, досліди Штерна). Термодинамічні системи, параметри та процеси. Модель ідеального газу, його закони та рівняння стану (Клапейрона-Менделєєва).	Опрацювання лекційного матеріалу, робота із формульником та із літературними джерелами за темою.
2. Мікроскопічна статистика та явища перенесення		
9-10	Ступені вільності молекул та закон рівномірного розподілу енергії за ступенями вільності. Розподіл молекул за швидкостями Максвелла (характерні швидкості, аналіз функції розподілу).	Опрацювання лекційного матеріалу, робота із формульником та із літературними джерелами за темою.
11-12	Газ у зовнішніх потенціальних полях: барометрична формула та закон Больцмана. Ефективний діаметр молекул, переріз зіткнень та середнє число зіткнень.	Опрацювання лекційного матеріалу, робота із формульником та із літературними джерелами за темою.
13-14	Середня довжина вільного пробігу молекул. Явища перенесення в газах: дифузія (закон Фіка) та внутрішнє тертя / в'язкість (закон Ньютона).	Опрацювання лекційного матеріалу, робота із формульником та із літературними джерелами за темою.

15-16	Теплопровідність газів (закон Фур'є). Співвідношення між коефіцієнтами перенесення. Особливості явищ перенесення в ультрарозріджених газах (вакуумні ефекти, ефекти Кнудсена).	Опрацювання лекційного матеріалу, робота із формульником та із літературними джерелами за темою.
3. Термодинаміка ідеальних систем та класичні закони		
17-18	Основи термодинаміки: рівновага, функції стану (внутрішня енергія) та функції процесу (робота, кількість теплоти). Перший закон термодинаміки (загальний вираз та застосування до ідеального газу).	Опрацювання лекційного матеріалу, робота із формульником та із літературними джерелами за темою.
19-20	Ізопроцеси ідеального газу, адіабатичний та політропний процеси. Другий закон термодинаміки: оборотні та необоротні процеси.	Опрацювання лекційного матеріалу, робота із формульником та із літературними джерелами за темою.
21-22	Цикл Карно, обчислення його ККД. Теореми Карно та принципи роботи теплових машин. Поняття про ентропію. Нерівність Клаузіуса та залежність ентропії від параметрів стану.	Опрацювання лекційного матеріалу, робота із формульником та із літературними джерелами за темою.
23-24	Зростання ентропії при дифузії газів. Парадокс Гіббса. Третій закон термодинаміки (теорема Нернста) та недосяжність абсолютного нуля.	Опрацювання лекційного матеріалу, робота із формульником та із літературними джерелами за темою.
25-26	Елементи термодинаміки необоротних процесів. Систематизація методів термодинаміки: метод циклів проти методу термодинамічних потенціалів.	Опрацювання лекційного матеріалу, робота із формульником та із літературними джерелами за темою.
4. Термодинамічні потенціали та рівновага систем		
27-28	Характеристичні функції (внутрішня енергія, ентальпія, вільна енергія Гельмгольца, потенціал Гіббса). Рівняння Гіббса-Гельмгольца та співвідношення Максвелла.	Опрацювання лекційного матеріалу, робота із формульником та із літературними джерелами за темою.
29-30	Системи зі змінним числом частинок. Фізичний зміст хімічного потенціалу. Загальні умови рівноваги та стійкості термодинамічних систем (ізолювані системи та системи в термостаті при $V = \text{const}$).	Опрацювання лекційного матеріалу, робота із формульником та із літературними джерелами за темою.

31-32	Рівновага систем у термостаті при $p = \text{const}$ та при постійному хімічному потенціалі. Умови рівноваги двохфазної однокомпонентної системи.	Опрацювання лекційного матеріалу, робота із формульником та із літературними джерелами за темою.
33-34	Умови стійкості та рівноваги однорідної системи. Принцип Ле Шательє-Брауна. Фазові переходи першого роду, крива рівноваги фаз і рівняння Клапейрона-Клаузіуса.	Опрацювання лекційного матеріалу, робота із формульником та із літературними джерелами за темою.
5. Реальні гази, критичні явища та статистика		
35-36	Критична точка та критичні явища. Реальний газ: урахування сил міжмолекулярної взаємодії та виведення рівняння Ван-дер-Ваальса.	Опрацювання лекційного матеріалу, робота із формульником та із літературними джерелами за темою.
37-38	Фізичний зміст поправок Ван-дер-Ваальса. Аналіз ізотерм реального газу. Ефект Джоуля-Томсона при необоротному адіабатичному розширенні (дроселювання).	Опрацювання лекційного матеріалу, робота із формульником та із літературними джерелами за темою.
39-40	Охолодження газу при оборотному адіабатичному розширенні та технології зрідження газів. Елементи статистичної теорії: обчислення термодинамічних функцій класичного ідеального газу.	Опрацювання лекційного матеріалу, робота із формульником та із літературними джерелами за темою.
41-42	Статистичний інтеграл для реального газу малої густини в наближенні парної взаємодії. Порівняння теоретичних статистичних наближень з емпіричним рівнянням Ван-дер-Ваальса.	Опрацювання лекційного матеріалу, робота із формульником та із літературними джерелами за темою.
43-44	Наближені вирази ентропії, енергії та тиску реального газу.	Опрацювання лекційного матеріалу, робота із формульником та із літературними джерелами за темою.
	Підсумкове узагальнення курсу (Контроль формульника)	

Практичні заняття

Основним завданням циклу практичних занять є оволодіння студентами прийомами і методами практичного застосування знань.

Для підготовки до практичного заняття студент повинен: опрацювати теоретичний матеріал за темою заняття.

На практичному занятті студент повинен: 1) виконувати аудиторні задачі у зошиті; 2) брати активну участь у розв'язку аудиторних задач, відповідати на поставлені запитання щодо розв'язку та ідей задач.

Після проведення заняття студент повинен: 1) виконати домашнє завдання по розв'язуванню задач; 2) вміти пояснювати фізичний зміст використаних формул та хід власних думок щодо розв'язку задач.

№ п/п	Назва теми заняття та перелік основних питань
1-2	Вступ до молекулярної фізики та термодинаміки.
3-4	Молекулярна будова речовини. Закони ідеальних газів.
5-6	Основи молекулярно-кінетичної теорії ідеального газу. Процеси.
7-8	Елементи статистичної фізики. Максвеллівський розподіл.
9-10	Розподіл газу у полі потенційних сил - розподіл Больцмана. Барометрична формула. Модульна контрольна робота «Основи МКТ»
11-12	Фізичні основи термодинаміки. Перший закон термодинаміки.
13-14	Теплоємність ідеального газу. Застосування першого закону термодинаміки до процесів ідеальних газів.
15-16	Другий закон термодинаміки. Циклічні процеси.
17-18	Обчислення зміни ентропії в основних різновидах термодинамічних процесів.
19-20	Модульна контрольна робота «Основи термодинаміки»
21-22	Реальні гази. Рівняння Ван-дер-Ваальсу і його аналіз.
23-24	Метастабільні стани. Внутрішня енергія реального газу.
25-26	Явища переносу. Дифузія, в'язкість. Дифузія, в'язкість.
27-28	Тверді тіла. Теплоємність твердого тіла.
29-30	Модульна контрольна робота «Реальні системи»

Лабораторні заняття

У третьому семестрі студенти виконують лабораторні роботи з циклу «Молекулярна фізика та термодинаміка» відповідно до встановленого графіка та розкладу занять.

Основним завданням циклу лабораторних робіт є набуття студентами досвіду проведення експериментальних досліджень при перевірці положень теорії та засвоєння правил обробки експериментальних даних та оформлення одержаних результатів.

Для підготовки до роботи в лабораторії треба: 1) вивчити положення теорії надані у протоколі, лекціях та запропонованій літературі; 2) підготувати протокол дослідження.

Після виконання лабораторної роботи необхідно: 1) оформити експеримент у підготовлений протокол; 2) виконати розрахунки; 3) побудувати необхідні залежності та графіки; 4) опрацювати контрольні запитання; 5) здати оформлений звіт та захистити його.

№ п/п	Назва лабораторної роботи
1-2	Вступ. Теорія похибок і обробка результатів вимірювань у фізичній лабораторії. Вимірювальні прилади та робота з ними.
3-4	Розрахунок експериментальної густини повітря.
5-6	Визначення універсальної газової постійної.
7-8	Визначення середньої довжини вільного пробігу та ефективного діаметра молекул. Визначення розмірів молекул та авогадрових величин.
9-10	Вивчення розподілу Больцмана на механічній моделі ідеального газу.
11-12	Дослідження броунівського руху та оцінка коефіцієнта дифузії. / Моделювання та дослідження статистичних розподілів.
13-14	Вивчення ламінарної течії речовини крізь тонкі трубки.
15-16	Визначення коефіцієнта в'язкості рідини методом Стокса.
17-18	Визначення відношення теплоємності газу при сталому тиску до його теплоємності при сталому об'ємі.
19-20	Визначення показника адіабати для повітря методом Клемана-Дезорма (за витіканням газу з балона) або методом акустичного резонансу.
21-22	Експериментальна перевірка законів ідеального газу.
23-24	Визначення теплоємності твердих тіл.
25-26	Визначення коефіцієнта теплопровідності повітря методом нагрітої нитки та металу нитки.
27-28	Визначення зміни ентропії під час фазового переходу першого роду на прикладі плавлення олова.
29-30	Колоквіум.

6. Самостійна робота студента

Самостійна робота студента включає: 1) опрацювання лекційного матеріалу та окремих питань теорії, які виносяться на самостійне опрацювання; 2) систематизацію знань та матеріалів, засобами створення формульника; 3) підготовку до практичних занять, розв'язування задач домашнього завдання; 4) підготовку до виконання лабораторних робіт та їх захистів; 5) виконання завдань модульних контрольних робіт; 6) підготовку до контрольних заходів.

Опрацювання лекційного матеріалу проводиться регулярно протягом семестру: 1) після лекції і полягає у систематизації формул з теоретичного матеріалу у формульник та аналізу незрозумілих матеріалів лекції, які здобувач виносить на запитання під час консультацій; 2) напередодні наступної лекції і полягає в повторенні навчального матеріалу за конспектом, формульником та за рекомендованою літературою.

Підготовка до практичних занять полягає у повторенні/вивченні відповідного теоретичного матеріалу та розборі прикладів розв'язування задач з даної теми. Розв'язування задач домашнього завдання проводиться з метою закріплення знань та умінь практичного застосування положень теорії, набутих на аудиторних заняттях.

Підготовка до лабораторних робіт передбачає вивчення студентом законів фізики, які перевіряються при виконанні лабораторних досліджень, методики проведення досліджень, приладів, що застосовуються для вимірювань, порядку обробки результатів експерименту. Після проведення лабораторної роботи студенти повинні оформити результати досліджень: виконати необхідні обчислення, побудувати графіки, розрахувати похибки та проаналізувати отримані дані. Результати обробки експериментальних даних повинні бути представлені не пізніше наступного лабораторного заняття.

Модульна контрольна робота передбачає складання контролів знань за модулями курсу, а саме вміщує матеріал трьох розділів: «Основи МКТ», «Основи термодинаміки» та «Реальні системи», і проводяться на відведеному для цього занятті з практичних.

Підготовка до екзамену, що включає в себе систематизацію отриманих знань впродовж семестру на різних видах діяльності, таких як лекції, практичні заняття, лабораторні заняття, контрольні заходи.

Політика та контроль

7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Відвідування лекції, практичних занять та лабораторних робіт є обов'язковим. У разі хвороби студент зобов'язаний представляти довідку про термін проходження лікування, оформлену належним чином в установі, де проходило лікування. Наявність такого документу є гарантією не нарахування штрафних балів. В інших випадках (наприклад, сімейні обставини) питання вирішується в індивідуальному порядку разом з викладачем. У будь-якому випадку студентам рекомендується відвідувати усі види занять, оскільки на них викладається теоретичний матеріал та розвиваються навички, необхідні для виконання семестрового індивідуального завдання, лабораторних робіт та домашніх завдань.

В разі дистанційного навчання на лекції викладач користується власним презентаційним матеріалом; використовує Zoom для викладання навчального матеріалу, Zoom/IDroo для проведення практичних занять, Sikorsky-distance/Physics для проведення поточного контролю. Результати виконання завдань самостійної роботи з'являються на дистанційних платформах.

Під час проведення лекційних, практичних та лабораторних занять забороняється використовувати мобільні телефони для спілкування та не санкціонованого пошуку інформації в Інтернеті. Їх можна використовувати тільки для проходження тестування, а також для проведення обчислень на практичних і лабораторних заняттях та вимірювання часу на лабораторних заняттях (в разі наявності в смартфоні відповідних програмних продуктів).

Результати виконаних практичних робіт оформлюються у вигляді звітів, написаних від руки. Звіт супроводжується формулами, графіками, рисунками – елементами, які підтверджують виконання завдань та одержані результати. **За дистанційної форми (індивідуального графіку)** навчання звіт на перевірку надається на курс, розміщений на Sikorsky-distance.

До виконання лабораторних робіт допускаються студенти за умов: наявність підготовленого до виконання протоколу. Результати вимірювань студенти заносять у протокол і пред'являють викладачу для перевірки. Не перевірені дані до захисту не приймаються. Для захисту лабораторної роботи студент повинен дати відповідь на

контрольні запитання, правильно оформити результати вимірів (розрахувати значення необхідних величин, побудувати графічні залежності відповідно до існуючих правил, обчислити похибки, записати остаточні результати дослідження з дотриманням правил округлення, зробити висновки по роботі) та надати відповіді в усно-письмовій формі викладачу при здачі роботи.

В разі дистанційного навчання (індивідуального графіку), експериментальна частина протоколу до лабораторної роботи може бути оформлена як «від руки», так і засобами Word та Excel/MathLab. Частина протоколу із контрольними запитаннями має бути виконана «від руки» із дотриманням вимог щодо відповідей на контрольні запитання, а саме, відповідь має містити: визначення та пояснення, формул(у/и) або виведення формул, рисунок/графік.

Завдання модульної контрольної роботи студенти виконують під час пари на окремих листах. Завдання роботи студенти виконують «від руки», виконуючи поступово завдання роботи, правильно оформлюючи результати вимірів: вивести необхідні для обчислення формули, розрахувати значення шуканих величин, побудувати графічні залежності, обчислити похибки (за потреби), записати остаточні результати з дотриманням правил округлення та у системі CI, зробити висновки по роботі. **За дистанційного навчання (індивідуального графіку)** - засобами тестування на платформі Sikorsky-distance.

Заохочувальні бали виставляються за: активну роботу на заняттях; участь у факультетських та інститутських олімпіадах з фізики; участь у студентській конференціях, за темами, які входять до даного курсу, за умови пред'явлення відповідного сертифікату. Кількість заохочуваних балів зазначено у табл.2.

Штрафні бали призначаються за: пропуски занять без поважних причин, несвоєчасне виконання завдань домашньої контрольної роботи, не виконання домашніх завдань на практичних заняттях, несвоєчасний захист лабораторних робіт, зазначено у табл.2.

Політика дедлайнів та перескладань: визначається п. 8 Положення про поточний, календарний та семестровий контроль результатів навчання в КПІ ім. Ігоря Сікорського.

Політика щодо академічної доброчесності: визначається політикою академічної чесності та іншими положеннями Кодексу честі університету.

8. Види контролю та рейтингова система оцінювання результатів навчання (PCO)

Види контролю встановлюються відповідно до Положення про поточний, календарний та семестровий контроль результатів навчання в КПІ ім. Ігоря Сікорського:

1. Поточний контроль: захист лабораторних робіт, практичних задач, систематизація формул у формульник.
2. Календарний контроль: проводиться двічі на семестр як моніторинг поточного стану виконання вимог силабусу.
3. Семестровий контроль: екзамен.

Якщо студент не виконав модульну контрольну роботу, не здав лабораторну роботу (відповіді на контрольні запитання до роботи та розрахований протокол лабораторної роботи), не створив формульник, то його результат оцінюється у 0 балів.

Рейтинг з дисципліни розраховується за формулою. Рейтингова оцінка (RD) з кредитного модуля формується як сума балів поточної успішності навчання – стартового рейтингу (r_c) та балів отриманих на іспиті (r_I):

$$RD = r_c + r_I.$$

Стартового рейтинг є сумарною оцінкою за виконання студентом завдань поточного контролю та модульної контрольної роботи:

$$r_c = r_L + r_M + r_F$$

r_L – бали захисту лабораторних робіт (колоквіум), r_M – бали модульних контрольних робіт, r_F – бал отриманий за формульник. Максимальна кількість балів стартового рейтингу складає 50 балів.

Критерії оцінювання результатів роботи в семестрі наведені в таблиці 1, штрафні та заохочувальні бали - в таблиці 2.

Таблиця.1. РЕЙТИНГОВА СИСТЕМА ОЦІНЮВАННЯ (PCO)

Вид роботи	Кількість	Максимальний бал		Сума
Модульна контрольна	3	Виконання модульної контрольної роботи	5	15
Лабораторні роботи	15	Звіт з виконаної лабораторної роботи + захист	1	15
Формульник	1	Формули з короткими визначеннями, рисунками (схемами)	4+3+3	10
	1	Контроль	10	10
Сума вагових балів контрольних заходів				50

Таблиця 2. ШТРАФНІ ТА ЗАОХОЧУВАЛЬНІ БАЛИ

	бали
1. Несвоєчасне виконання завдання без поважних причин	-0,2
2. Відсутність на лекції або на практичних заняттях без поважних причин	-0,2
3. Несвоєчасне виконання МКР без поважних причин	-1
4. Якісне ведення конспекту лекцій (з використанням додаткових джерел)	+1...3
5. Якісне ведення формульника	+1...2
6. Участь у конференціях, семінарах	+5
Максимальна сума заохочувальних R_5	10

Семестровий контроль: **екзамен**

До екзамену допускаються студенти, котрі за результатами поточного контролю набрали не менше 30 балів (60 % від максимально можливих стартового рейтингу) за умови здачі всіх

лабораторних робіт, успішного виконання модульних контрольних робіт, виконання систематизації лекційного матеріалу засобами створення формульника та виконання усіх завдань практичних занять (не менше 60% правильно виконаних завдань). За результатами екзамену студент може набрати 50 балів.

Табл. 3. Критерії оцінювання та кількість балів на іспиті.

Критерії	Кількість балів
студент демонструє повні і глибокі знання навчального матеріалу, вміє правильно використовувати знання	45-50
студент демонструє хороші знання навчального матеріалу, вміє правильно використовувати знання	40-45
студент демонструє хороші знання навчального матеріалу, але допускає деякі неточності, щодо використання отриманих знань	35-40
студент демонструє задовільні знання навчального матеріалу, але допускає суттєві неточності, щодо використання отриманих знань	30-35
студент демонструє задовільні засвоїв теоретичний матеріал, але допускає суттєві помилки, щодо використання отриманих знань	20-30
незадовільне знання теорії та відсутність вміння та навичок у вирішенні поставлених завдань	1-20

Максимальна сумарна оцінка може бути 100 балів, мінімальна сумарна позитивна оцінка складає 60 балів.

Таблиця 4. Відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою:

<i>Кількість балів</i>	<i>Оцінка</i>
100-95	Відмінно
94-85	Дуже добре
84-75	Добре
74-65	Задовільно
64-60	Достатньо
Менше 60	Незадовільно
Не виконані умови допуску	Не допущено

9. Додаткова інформація з дисципліни

Додаток 1. Перелік питань, які виносяться на семестровий контроль

Поняття ідеального газу. Тиск ідеального газу, його зв'язок із середньоквадратичною швидкістю молекул. Термодинамічні потенціали: тепла функція, вільна енергія, термодинамічний потенціал Гіббса. Рівняння стану ідеального газу. Закони ідеального газу (Бойля-Маріотта, Гей-Люссака, ізохорний процес). Зміни вільної енергії та потенціалу Гіббса при незворотних процесах. Властивості цих потенціалів у стані рівноваги системи. Барометрична формула та дослід Перрена. Закон Больцмана. Залежність термодинамічних потенціалів від кількості частинок у системі. Умова рівноваги фаз у системі, трійна точка.

Поняття функції розподілу молекул за швидкостями. Обчислення середньої швидкості та середньоквадратичної швидкості з використанням розподілу густини ймовірності за швидкостями молекул. Відхилення газів від ідеальності. Сили взаємодії між молекулами – орієнтаційні, індукційні, дисперсійні. Функція розподілу молекул за компонентами швидкості. Розподіл Максвелла. Найімовірніша швидкість молекул. Середня швидкість молекул. Поняття оборотних та незворотних процесів. Розширення ідеального газу у порожнечу. Внутрішня енергія ідеального газу. Кількість теплоти та її механічний еквівалент. Перший початок термодинаміки. Формула Клайперона-Клаузіса, залежність тиску насиченої пари від температури, крива рівноваги фаз пар-рідина. Теплоємність ідеальних газів. Теплоємність одноатомного газу. Закон рівнорозподілу. Молекулярна структура рідин. Поверхневі сили, умова рівноваги межі розділу двох середовищ, крайовий кут. Теплоємність двох- та триатомних газів (порівняння результатів для ідеальних та реальних газів). Термодинамічні співвідношення та їх якісний аналіз. Теплоємність ідеальних газів. Залежність теплоємності водню від температури (пара та ортоводород). Взаємні перетворення механічної та теплової енергії при циклічному процесі. Коефіцієнт корисної дії теплової машини. Осмотичний тиск, закон Вант-Гоффа. Роль осмосу в діяльності живих організмів і рослин. Рівняння стану Ван-дер-Ваальса реального газу. Адіабатичний процес, рівняння стану газу при адіабатичному процесі. Тиск Лапласа на кривій поверхні рідини. Залежність коефіцієнта натягу поверхневого від температури. Робота, що здійснюється при ізотермічному та адіабатичному процесах. Походження рівності варіацій, якщо стан системи визначається ще й деякими зовнішніми параметрами. Другий початок термодинаміки. Цикл Карно, ККД цього циклу. Ентропія – функція стану термодинамічної системи. Ентропія при оборотних процесах у замкнутій системі. Термодинамічні співвідношення та їх інтерпретація. Явища переносу. Середня кількість зіткнень в одиницю часу та середня довжина вільного пробігу. Поняття ефективного перерізу розсіювання молекули. Ентропія при незворотних процесах у замкнутій системі, закон зростання ентропії. Метод обчислення зміни ентропії при незворотному переході з рівноважного стану А до рівноважного стану В. Холодильна машина. Перша теорема Карно (ККД незворотного циклу менше ККД циклу Карно). Стаціонарна дифузія у газах, обчислення коефіцієнта дифузії. Друга теорема Карно (ККД машини Карно не залежить від роду робочого тіла). Теплопровідність, обчислення коефіцієнта теплопровідності. Зміна ентропії системи при прямій теплопередачі. Зростання ентропії при розширенні ідеального газу в порожнечу. Залежність тиску насиченої пари від кривизни поверхні рідини. Зміна ентропії при ізотермічному, ізобарному та політропному процесах. В'язкість газів, коефіцієнт в'язкості. Співвідношення між коефіцієнтами перенесення. Фізичне наповнення поняття ентропії, ентропія та ймовірність. Третій початок термодинаміки. Кипіння рідини. Співвідношення температур кипіння та замерзання розчинів щодо цих показників для чистого розчинника. Трамбування зміни внутрішньої енергії у реальному газі. Поширення звуку в газах. Швидкість звуку у моделі Ньютона. Швидкість звуку моделі Лапласа. Характерні зміни тиску при генерації звуку різної потужності. Ізотерми Ван-дер-Ваальса. Фазовий перехід у реальному газі при зменшенні його об'єму. Слабкі розчини, механізми розчинення, теплота розчинення. Критичний стан. Критичні температура, об'єм та тиск. Зрідження газів. Залежність тиску насиченої пари від кривизни поверхні рідини. Ефект Джоуля-Томпсона. Точка інверсії. Теплоємність двох-

та триатомних газів. Теплоємність неідеального газу, обчислення різниці. Пружність насиченої пари над розчином (ідеальним і слабким), закон Рауля.

Лектор залишає з собою право змінювати порядок викладу навчального матеріалу, частково його об'єм і зміст залежно від пізнавальних можливостей студентів і здатності його засвоєння.

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено доцентом кафедри загальної фізики та моделювання фізичних процесів кандидатом технічних наук Штофель Ольгою Олександрівною

Ухвалено кафедрою загальної фізики та моделювання фізичних процесів (протокол № 06-26 від 24.06.2026)

Погоджено Методичною комісією фізико-математичного факультету (протокол № 11 від 26.06.2026)