

Одеський національний університет імені І. І. Мечникова
Факультет математики, фізики та інформаційних технологій
Кафедра фізики та астрономії

Силабус курсу

Молекулярна фізика

Обсяг	10 кредитів, 300 год.
Семестр, рік навчання	2 семестр, 1-й рік навчання
Дні, час, місце	Понеділок, четвер, 9.30, Велика фізична ауд., лаб. №9
Викладач (-і)	проф. Гоцульський В.Я.
Контактний телефон	0679217313
E-mail	vygot@onu.edu.ua
Робоче місце	Пастера 42, каб.16, Пастера 27 лаб.48
Консультації	Очні консультації: Середа, 13.00-15.00, Пастера 42 каб.16

КОМУНІКАЦІЯ

Комунікація зі студентами: E-mail: vygot@onu.edu.ua; viber 0679217313; Telegram 0509599353; телефон, очні зустрічі.

АНОТАЦІЯ КУРСУ

Предмет вивчення:

У курсі молекулярної фізики розглядаються макроскопічні явища, у тому числі теплові, виходячи з особливостей атомно-молекулярної будови речовини, та основні закони молекулярної фізики в межах курсу загальної фізики для фізичних факультетів класичних університетів. Викладаються два основні методи дослідження макроскопічних явищ: термодинамічний і статистичний. Властивості тіл в різних агрегатних станах пояснюються, властивостями частинок, з яких вони складаються, силами, які діють між частинками. Демонструється зв'язок молекулярної фізики з хімією та біологією. Фундаментальний характер закономірностей, що представлені в даному курсі, визначає його базисне місце серед інших курсів фізики, зокрема, курсів термодинаміки і статистичної фізики, атомної фізики і частково електрики та магнетизму. Результати навчання полягають в умінні застосовувати основні закони молекулярної фізики як для розв'язку задач, так і в отриманні навичок практичного використання таких законів при виконанні експериментальних лабораторних робіт з молекулярної фізики. Методи викладання: лекції, практичні заняття, консультації, іспит. Методи оцінювання: опитування в

процесі лекції, колоквиум, контрольні роботи після основних розділів курсу, перевірка домашніх завдань, екзамен. Підсумкова оцінка складається з семестрових модульних оцінок (60%) та оцінки підсумкового контролю знань (40%).

Метою курсу є оволодіння базовими знаннями з молекулярної фізики та термодинаміки у рамках курсу загальної фізики для фізико-математичних спеціальностей класичних університетів України.

Завданням дисципліни є Здатність розв'язувати складні спеціалізовані задачі та практичні проблеми з молекулярної фізики та термодинаміки у професійній діяльності та оволодіння методами і принципами необхідними в майбутній практичній діяльності фахівця, відповідними вміннями і навичками згідно вимог проекту Стандарту вищої освіти України (перший (бакалаврський) рівень вищої освіти, галузь знань 10 «Фізика», спеціальність 104 «Фізика та астрономія» та забезпечення набуття здобувачами освіти відповідних компетентностей.

Результати навчання забезпечують можливості:

<i>Результат навчання</i> (1. знати; 2. вміти)		<i>Методи викладання і навчання</i>	<i>Методи оцінювання</i>	<i>Відсоток у підсумковій оцінці з дисципліни</i>
<i>Код</i>	<i>Результат навчання</i>			
1.1	Знати математичне формулювання та фізичний зміст основних принципів та законів молекулярної фізики. Знати основні фізичні експерименти, на яких базуються закони молекулярної фізики. Знати одиниці вимірювання основних фізичних величин, що характеризують явища молекулярної фізики, у Системі інтернаціональній (СІ).	<i>Лекції, самостійна робота, практичні заняття</i>	<i>Контрольні роботи, перевірка домашніх завдань, опитування під час практичних занять, екзамен.</i>	15
1.2	Знати два методи описування і дослідження процесів, які відбуваються в макроскопічних тілах: статистичний і	<i>Лекції, самостійна робота, практичні</i>	<i>Контрольні роботи, перевірка домашніх</i>	10

	термодинамічний.	<i>заняття</i>	<i>завдань, опитування під час практичних занять, екзамен.</i>	
1.3	Розуміти зв'язок молекулярної фізики та термодинаміки з іншими науками хімічного та біологічного напрямку.	<i>Лекції, самостійна робота, практичні заняття</i>	<i>Контрольні роботи, перевірка домашніх завдань, опитування під час практичних занять, екзамен.</i>	10
2.1	Вміти логічно і послідовно формулювати основні положення і закони молекулярної фізики та термодинаміки. Розрахувати теплофізичні властивості речовини три наявності інформації про термічне та калоричне рівняння стану.	<i>Лекції, самостійна робота, практичні заняття</i>	<i>Контрольні роботи, перевірка домашніх завдань, опитування під час практичних занять, колоквиум, екзамен.</i>	15
2.2	Вміти пов'язувати макроскопічні характеристики речовини з особливостями її молекулярної структури. Застосовувати методи молекулярної фізики та термодинаміки у інших галузях науки.	<i>Лекції, самостійна робота, практичні заняття</i>	<i>Контрольні роботи, перевірка домашніх завдань, опитування під час практичних занять, екзамен.</i>	20
2.3	Вміти самостійно працювати з відповідною літературою по молекулярній фізиці та основам термодинаміки. Самостійно	<i>Самостійна робота, практичні заняття</i>	<i>Контрольні роботи, перевірка домашніх</i>	10

	приймати рішення стосовно свого професійного розвитку.		завдань, опитування під час практичних занять, екзамен.	
2.4	Вміти розв'язувати основні типи задач з молекулярної фізики; створювати фізичні моделі макроскопічних явищ на основі атомно-молекулярної будови речовини.	Самостійна робота, практичні заняття	Контрольні роботи, перевірка домашніх завдань, опитування під час практичних занять, колоквиум, екзамен	20

ОПИС КУРСУ

Форми і методи навчання

Курс буде викладений у формі лекцій (54 год.) та практичних (48год.) і лабораторних занять (48год.), організації самостійної роботи студентів (150 год.).

Під час викладання дисципліни використовуються словесні методи навчання, наочні методи навчання. Головним словесним методом навчання є лекція. Під час проведення лекцій та практичних занять 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.

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 ізотопі

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. Теореми 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, сублимація, конденсація, плавлення. Високомолекулярні сполуки. Особливості будови і фізичні властивості.

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. A.N. Matveev. Molecular Physics. Imported Publication, 1986
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.
6. I.E. Irodov Problems in General Physics. Mir publisher, 2011.

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, Астропрінт, 2001.
2. І.І.Адаменко, Д.А.Гаврюшенко, В.М.Сисоев. Статистична термодинаміка рідин. Ч. I. Основні положення статистичної термодинаміки рідких систем. Київ РВЦ «Київський університет»б 1998.
3. Л.А. Булавін, В.М. Сисоев. 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>
2. Wolfram Demonstrations Project THERMODYNAMICS:
<https://demonstrations.wolfram.com/topic.html?topic=Thermodynamics&limit=20>

ОЦІНЮВАННЯ

Навчальна дисципліна «Молекулярна» оцінюється за 100-бальною шкалою.

Методи поточного контролю: Поточний контроль здійснюється за результатами виконання 2 контрольних робіт за тематикою змістовних модулів, контрольних робіт з розв'язування задач, захисту індивідуального завдання. Оцінюється також активність студента в процесі занять: усне опитування, написання і захист звітів до лабораторних робіт, виконання практичних вправ; розв'язання ситуаційних задач.

Форми і методи підсумкового контролю: Підсумковий семестровий контроль - іспит. Підсумковий семестровий контроль (іспит) проводиться у письмовій формі. Екзаменаційний білет містить три 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 кожен наступну незначну помилку чи суперечність знімається 1 бал;
- неповна відповідь, яка не містить критичних помилок чи суперечностей – 5 балів,

за кожен 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

Загальна схема нарахування балів

Форма поточного контролю					Екзамен аційна робота	Сума
Поточний контроль (усний)	Звіти за лабораторні роботи	Контрольні роботи		Разом		
		Лекції	Практ.			
5	15	20	30	70	30	100

Додаткові (бонусні) бали (до 10) можуть бути отримані при виконанні і захисті індивідуального завдання студента ІНДЗ (доповідь та мультимедійна презентація за обраними темами).

Самостійна робота студентів. Формами самостійної роботи студентів є: підготовка теоретичного матеріалу (лекцій), самостійне розв'язування задач за темами практичних занять, підготовка до виконання лабораторних робіт та складення звітів про роботи. Метою самостійної роботи студента є забезпечення твердих знань теоретичного матеріалу, здобуття практичних навичок у розв'язуванні задач та проведенні експериментальних досліджень з оптики.

Результати виконання самостійної роботи за підготовкою теоретичного матеріалу оцінюються за якістю виконання поточних контрольних робіт. Результати самостійного розв'язування задач оцінюються за перевіркою виконаних завдань та поточними контрольними роботами з розв'язування задач. Результати підготовки до лабораторних робіт оцінюються шляхом опитування студентів та за якістю представлених звітів про виконані роботи.

Результати індивідуального завдання представляються у вигляді доповіді (5-8 хв), що супроводжується презентацією (5-7 слайдів). Критеріями оцінювання є: повнота представленого матеріалу, якість доповіді та презентації, відповідей на запитання викладача та однокурсників.

Строки здачі/виконання завдань самостійної роботи визначаються викладачем.

ПОЛІТИКА КУРСУ

Визначається нормативними документами/Положеннями, які є чинними в ОНУ імені І.І.Мечникова (<https://onu.edu.ua/uk/geninfo/official-documents>).

Дедлайн виконання завдань з курсу визначає викладач. В разі поважних причин, перенесення терміну виконання завдань дозволяє викладач. Перескладання заборгованостей – з дозволу деканату.

Кожен студент повинен пам'ятати про академічну доброчесність що забезпечується самостійним виконанням навчальних завдань, завдань поточного та підсумкового контролю, належним посиленням на джерела інформації у разі виконання творчих робіт, дотриманням норм законодавства про авторське право і суміжні права, наданням достовірної інформації про результати власної наукової діяльності.

За порушення академічної доброчесності здобувачі освіти можуть бути притягнуті до академічної відповідальності згідно Положенню про академічну доброчесність в ОНУ імені І.І.Мечникова. (<https://onu.edu.ua/pub/bank/userfiles/files/documents/acad-dobrochesnost.pdf>).

Відвідування занять для студента 1-го курсу є обов'язковим, як і своєчасний прихід на заняття.