

Міністерство освіти і науки України
ДНУЗ «Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника»
Кафедра фізики і хімії твердого тіла

Д.М. Фреїк, А.В. Лисак

«МОЛЕКУЛЯРНА ФІЗИКА І ТЕРМОДИНАМІКА»
Методичний посібник

Івано-Франківськ

2013

УДК 539.1
ББК 22.371.21
Ф86

*Друкується згідно з рішенням Вченої ради фізико-технічного факультету
ДНВЗ «Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника»
(Протокол №2 від 24.10.2013 р.)*

Рецензенти:

*кандидат фізико-математичних наук, професор **В.М. Кланічка**
(ДНВЗ «Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника» МОН
України);*

*доктор фізико-математичних, професор **І.М. Гасюк**
(ДНВЗ «Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника» МОН
України)*

Фреїк Д.М.
Ф86 Молекулярна фізика і термодинаміка. Методичний посібник / Д.М. Фреїк,
А.В. Лисак. – Івано-Франківськ: ДНВЗ «Прикарпатський національний
університет імені Василя Стефаника», 2013. – 44 с.

Методичний посібник складений відповідно до навчальних програм з курсу загальної фізики «Молекулярна фізика і термодинаміка». Посібник містить програму курсу, питання на колоквиум, задачі для синтезу та методичні поради для складання іспиту.

Для студентів першого курсу спеціальностей «Фізика» та «Прикладна фізика» вищих навчальних закладів освіти.

УДК 539.1
ББК 22.371.21

© Фреїк Д.М., Лисак А.В., 2013
© ДНВЗ «Прикарпатський національний університет
імені Василя Стефаника», 2013

Вступ

Фізика – наука про природу, про найбільш фундаментальні закономірності руху матерії, її будову, властивості та взаємодію. Головна мета фізики – встановити та пояснити закони, за якими відбуваються процеси та явища навколишнього світу.

Фізика необхідна студентам для подальшого успішного засвоєння обраної спеціальності.

В першу чергу фізика для студентів фізичних спеціальностей має на меті формування теоретичної бази для освоєння майбутніх спеціальностей. Запорукою цьому повинна стати чіткість та глибина розуміння основних понять, законів та принципів фізики.

По-друге, фізика – експериментальна наука з широко розвинутою системою методів наукових досліджень. Тому при вивченні фізики, відбувається знайомство із сучасною науковою апаратурою, з'являються початкові навички проведення експериментальних досліджень, вміння оцінювати похибки вимірювань.

По-третє, знайомство з розвитком фізики у світі та в Україні зокрема, з методологією розв'язання складних проблем, що виникали в її історії, є невичерпним джерелом творчого підходу до вирішення суто технологічних проблем. Класичні приклади використання аналогій, застосування моделювання фізичних процесів, створення ідеальних моделей та абстракцій навчають умінню виділяти головне в кожній проблемі, що виникатиме у повсякденній роботі.

Насамкінець, фізика несе і значну виховну роль, підкреслюючи значення людського фактора в освоєнні природи та у посяганні на її таємниці. Біографії більшості видатних вчених можуть стати прикладом служіння науці і людству. Важливо донести, що фізика, перебуваючи завжди на вістрі технічного прогресу, виступала як джерелом так і засобом розв'язання більшості проблем, зокрема, екологічних, даючи найбільш системний підхід до оцінки екологічної ситуації, формуючи погляд про формальний взаємозв'язок в Природі, у центрі якої – найбільша цінність – Людина.

Молекулярна фізика є тим розділом загального курсу фізики, в якому вперше зустрічаємося з головною проблемою фізики – проблемою будови речовини. У запропонованій добірці матеріалів звернена увага на основні питання розділу загального курсу фізики, які виносяться на випробування для освітньо-кваліфікаційного рівня: бакалавр. Береться до уваги, що студент повинен володіти як теоретичним матеріалом, так і навичками розв'язування фізичних задач та проведення фізичного лабораторного експерименту.

З цією метою пропонується проведення двох колоквиумів та трьох синтезів, тематика яких розроблена і подається. За результатами успішного рейтингу виставляються бали, які входять до екзаменаційних.

Успіхів Вам у цікавому світі пізнання закономірностей фізичних процесів!

*Дмитро Фрейк,
Алла Лисак*

I. Програма
розділу "Молекулярна фізика і термодинаміка"
курсу загальної фізики

1.1. Предмет і основні положення молекулярної фізики. Закони ідеального газу. Предмет молекулярної фізики. Границі застосування моделі матеріальної точки і абсолютно твердого тіла. Модель матеріального тіла. Маса атомів і молекул. Кількість речовини. Основні ознаки агрегатних станів. Динамічний, статистичний і термодинамічний методи опису речовини.

1.2. Тиск і температура. Основне рівняння кінетичної теорії газів. Рівняння Клапейрона-Менделєєва. Закон Дальтона. Закон Авогадро. Барометрична формула. Підймальна сила. Вимірювання тиску. Молярні і питомі величини. Термометричне тіло і термометрична величина. Емпірична шкала температур. Залежність емпіричної температури від термометричного тіла і термометричної величини. Абсолютна термодинамічна шкала температур. Нуль Кельвін.

1.3. Розподіл Максвелла. Розподіл молекул за швидкостями. Середня кінетична енергія молекул. Вивід розподілу Максвелла. Характерні швидкості розподілу Максвелла. Частота ударів молекул у стінку. Число молекул у різних ділянках розподілу Максвелла. Експериментальна перевірка розподілу Максвелла. Принцип детальної рівноваги.

1.4. Розподіл Больцмана. Незалежність температури від зовнішнього потенціального поля. Вивід розподілу Больцмана. Суміш газів у посудині. Співвідношення між розподілами Максвелла і Больцмана. Атмосфера планет. Експериментальна перевірка розподілу Больцмана.

1.5. Кінетичні характеристики молекулярного руху. Поперечний переріз. Середня довжина вільного пробігу. Експериментальне визначення поперечного перерізу зіткнень. Частота зіткнень.

1.6. Процеси переносу. Види процесів переносу (теплопровідність, дифузія, внутрішнє тертя). Процеси переносу в газах. Зв'язок між коефіцієнтами, що характеризують процеси переносу. Взаємодія в газі із різних молекул. Фізичні явища у розріджених газах. Визначення вакууму. Теплопередача, дифузія і тертя при малих тисках. Явища у посудинах, з'єднаних пористою стінкою.

1.7. Розподіл енергії за ступенями вільності і броунівський рух. Теорема про рівномірний розподіл енергії за ступенями вільності. Сутність броунівського руху. Розрахунок руху броунівської частинки. Обертальний броунівський рух. Експериментальне визначення сталої Больцмана.

1.8. Перше начало термодинаміки. Задачі термодинаміки. Робота. Теплота. Внутрішня енергія. Фізичний зміст першого начала. Функції стану і повні диференціали. Теплоємність. Внутрішня енергія як функція стану. Теплоємність при постійному об'ємі. Теплоємність при постійному тиску для ідеального газу. Розходження теорії теплоємностей ідеального газу з

експериментом. Якісне пояснення залежності теплоємності молекулярного водню від температури. Процеси в ідеальних газах. Ізобарний процес. Ізохорний процес. Ізотермічний процес. Адіабатний процес. Політропний процес. Рівняння політропи. Робота при ізопроцесах.

1.9. Друге начало термодинаміки. Процеси. Нерівноважні процеси. Рівноважні процеси. Оборотні і необоротні процеси. Циклічні процеси. Робота циклу. Цикл Карно. Коефіцієнт корисної дії циклу Карно. Теорема Карно. Нерівність Клаузіуса. Визначення ентропії ідеального газу. Фізичний зміст ентропії. Розрахунок зміни ентропії у процесах ідеального газу. Зміна ентропії у необоротних процесах. Розрахунок К.К.Д. за допомогою ентропії. Формулювання Кельвіном другого начала термодинаміки. Формулювання Клаузіусом. Еквівалентність формулювання Кельвіна і Клаузіуса. Холодильна машина і нагрівач. Формулювання другого начала термодинаміки за допомогою ентропії. Статистичний характер другого начала термодинаміки. Теорема Нернста. Абсолютна термодинамічна шкала температур. Суть від'ємної термодинамічної температури.

1.10. Реальні гази. Відхилення властивостей газів від ідеальних. Рівняння Ван-дер-Ваальса. Фізичний зміст постійних, що входять у рівняння Ван-дер-Ваальса. Ізотерми. Перехід від газоподібного стану у рідину. Експериментальні ізотерми. Область двофазних станів. Насичена пара. Критичний стан. Властивості критичного стану. Критична опалесценція. Внутрішня енергія газу Ван-дер-Ваальса. Ефект Джоуля Томсона. Фізична суть ефекту. Диференціальне і інтегральне рівняння ефекту Джоуля-Томсона. Ефект Джоуля-Томсона у газі Ван-дер-Ваальса. Зрідження газів.

1.11. Рідини. Структура рідин. Залежність властивостей рідини від будови молекул. Поверхневий натяг. Вільна поверхнева енергія. Умови рівноваги на границі двох рідин і на границі рідина-тверде тіло. Тиск під викривленою поверхнею. Капілярні явища. Поверхневоактивні речовини. Рідкі кристали. Види рідких кристалів. Властивості і застосування рідких кристалів.

1.12. Фазові переходи. Сутність динамічної рівноваги на границі пара-рідина. Властивості системи пара-рідина. Тиск насиченої пари поблизу викривленої поверхні рідини. Кипіння. Перегріта рідина. Бульбашкова камера. Переохолоджена пара. Камера Вільсона. Поведінка двофазної системи при зміні температури при постійному об'ємі. Рівняння Клапейрона-Клаузіуса. Вивід рівняння. Фазова діаграма. Наближений інтеграл рівняння Клапейрона-Клаузіуса.

1.13. Рідкі розчини. Розчинність. Теплота розчинення. Ідеальні розчини. Закон Рауля. Закон Генрі. Залежність розчинності від температури. Діаграми-стану розчину. Кипіння рідких розчинів. Особливості кипіння розчинів. Діаграми стану бінарних сумішей. Розділення компонент розчину. Підвищення точки кипіння розчину. Осмотичний тиск. Механізм його виникнення. Закономірності осмотичного тиску.

1.14. Тверді тіла. Симетрія твердих тіл. Вісь симетрії n-го порядку. Точкові групи симетрії. Дзеркальні ізомери. Кристалічна ґратка. Примітивна ґратка.

Неоднорідність вибору базису примітивної ґратки. Трансляційна симетрія. Елементи симетрії ґратки. Кристаліграфічні системи координат. Позначення атомних площин. Позначення напрямів. Механічні властивості твердих тіл. Деформації. Пружні напруги. Коефіцієнт Пуассона. Пластична деформація. Текучість. Молекулярний механізм міцності. Кристалізація і плавлення. Кристалізація і сублімація. Фазові діаграми. Фазові переходи першого і другого роду. Аномальні речовини. Поліморфізм. Основні якісні відомості про сплави. Тверді розчини і полімери.

Основна література

1. А.Н. Матвеев. Молекулярная физика. М. Высшая школа, 1981.
2. И.К. Кикоин. Молекулярная физика. М. Наука, 1976.
3. Я.Й. Дутчак, Н.М. Якібчук. Молекулярна фізика. К. НМКВО, 1991.
4. Д.В. Сивухин. Общий курс физики: учеб. пособие. М. Наука, 1976.
5. И.В. Савельев. Курс общей физики. Т.1. Механика. Молекулярная физика. М. Наука, 1977.
6. І.В. Радченко Молекулярна фізика. – Харків: Харківський університет. – 1969. – 500 с.
7. М.М. Клим, П.М. Якібчук Молекулярна фізика. Навчальний посібник – Львів. Львівський національний у-нт імені Івана Франка. – 2003. – 544 с.
8. Л.О. Малешко Молекулярная физика и введение в термодинамику. – Минск: Высшая школа. – 1977. – 384 с.
9. С.Э. Фриш, А.В. Тиморева Курс общей физики Т.1. – М: Гос. изд. физ. – мат. литер. – 1962. – 500 с.
10. А.Н. Леденев Физика. Учебное пособие: Для вузов. В 5 кн. Кн. 2. Молекулярная физика. – М.: Физматлит. – 2005. – 208 с.
11. І.М. Кучерук, І.Т. Горбачук, П.П. Луцик Загальний курс фізики: навчальний посібник для студентів вищих техн. і пед. закладів освіти. К.: Техніка. 1999. 536 с.
12. Бушманов Б.И., Хромов Ю.А. Физика твердого тела. – М.: Высшая школа. – 1971. – 224 с.
13. Г.И. Епифанов Физика твердого тела. – М.: Высшая школа. – 1977. – 288 с.
14. П.М. Воловик Фізика для університетів. К.: Ірпінь. Перун. – 2005. – 864 с.
15. Г.Я. Мякишев, А.З. Синяков Физика. Молекулярная физика. Термодинамика. Пробный учебн. для углубленного изучения физики. – М.: Дрофа. – 1096. – 352 с.
16. Г. Бушок, Э.Ф. Венгер Курс фізики. У 3 кн. Кн.1. Фізичні основи механіки. Молекулярна фізика і термодинаміка: Навч. посіб. – К.: Вища школа. – 2002. – 375 с.
17. Л.А. Булавін, Д.А. Гаврюненко, В.М. Сисоев Молекулярна фізика. Підручник. – К.:Знання, 2006. – 321 с.

18. Б.К. Остафійчук, М.М. Яцура, А.М. Гамарник Фізика. Підручник. – Івано-Франківськ: Видавничо-дизайнерський відділ ЦІТ Прикарпатського національного університету імені В.Стефаника, 2009. – 553 с.
19. С.В. Козицький, А.Н. Золотко Молекулярна фізика. – Одеса: Астропринт, 2011. – 352 с.

Додаткова література

1. О.Д. Шебалин. Молекулярная физика. М. Высшая школа, 1978.
2. Р.В. Телеснин. Молекулярная физика. М. Высшая школа, 1973.
3. В.М. Яворский, А.А. Детлаф, Б. Мілковський. Курс фізики. Т.1. К. Вища школа, 1970.
4. Е.М. Гершензон, Н.Н. Малов, А.Н. Мансуров. Курс общей физики. Молекулярная физика. М. Просвещение, 1982,
5. Дж. Орір. Фізика. Т.1. М. Мир, 1981.
6. В.П. Дущенко. Загальна фізика. Механіка. Молекулярна фізика. К. НМКВО, 1991.
7. М.О. Галушак, Д.М. Фреїк. Курс фізики. Основи молекулярної фізики та термодинаміки. К. ІСДОУ, 1993.
8. В.Ф. Яковлев Курс фізики. Теплота и молекулярная физика. М.: Просвещение. 1976. 320 с.
9. Ю.И. Тюрин, И.И. Чернов, Ю.Ю. Крючков Фізика. Молекулярная фізика. Термодинамика. Учебник. СПб: Издательство «Лань». – 2008. – 288 с.

II. Питання

до колоквіумів з розділу "Молекулярна фізика і термодинаміка" з курсу загальної фізики

2.1. Колоквіум №1

- 2.1.1. Предмет молекулярної фізики. Основні положення молекулярно-кінетичної теорії газів. Основні характеристики агрегатних станів.
- 2.1.2. Модель Ідеального газу. Ізопроееси, їх закони та графіки.
- 2.1.3. Рівняння Клапейрона-Менделєєва. Універсальна газова стала.
- 2.1.4. Основне рівняння кінетичної теорії газів.
- 2.1.5. Закон Дальтона. Закон Авогадро.
- 2.1.6. Барометрична формула. Вимірювання тиску.
- 2.1.7. Сила Архімеда та підймальна сила аеростата.
- 2.1.8. Температура. Термометричне тіло і термометрична величина. Шкали температур. Абсолютна термодинамічна шкала температур.
- 2.1.9. Розподіл Максвелла.
- 2.1.10. Характерні швидкості розподілу Максвелла.
- 2.1.11. Експериментальна перевірка розподілу Максвелла.
- 2.1.12. Розподіл Больцмана. Співвідношення між розподілом Максвелла і Больцмана.
- 2.1.13. Експериментальна перевірка розподілу Больцмана.
- 2.1.14. Середня довжина вільного пробігу молекул газу. Частота зіткнень.
- 2.1.15. Процеси переносу. Види процесів переносу.
- 2.1.16. Дифузія газу.
- 2.1.17. В'язкість газу.
- 2.1.18. Теплопровідність газу.
- 2.1.19. Зв'язок між коефіцієнтами, що характеризують процеси переносу у газах.
- 2.1.20. Фізичні явища у розріджених газах. Вакуум.
- 2.1.21. Теплопередача, дифузія і тертя при малих тисках.
- 2.1.22. Ступені вільності. Теорема про розподіл енергії за ступенями вільності.
- 2.1.23. Структурність броунівського руху. Розрахунок руху броунівської частинки. Обертальний броунівський рух.

2.2. Колоквіум №2

- 2.2.1. Задачі термодинаміки. Робота, теплота, внутрішня енергія. Фізичний зміст першого начала термодинаміки.
- 2.2.2. Теплоємність. Теплоємність газу. Теплоємність при постійному об'ємі та постійному тиску.
- 2.2.3. Температурна залежність теплоємності газу та її пояснення.
- 2.2.4. Застосування першого начала термодинаміки до характеристики ізопроеесів: а) ізобарний, б) ізохорний, в) ізотермічний, г) адіабатичний.

- 2.2.5. Робота при ізопроцесах.
- 2.2.6. Політропічний процес. Рівняння політропи.
- 2.2.7. Процеси і цикли. Нерівноважні процеси. Рівноважні процеси.
- 2.2.8. Цикл Карно. К.к.д. циклу Карно.
- 2.2.9. Холодильна машина і нагрівач.
- 2.2.10. Теореми Карно.
- 2.2.11. Нерівність Клаузіуса.
- 2.2.12. Ентропія та її фізичний зміст.
- 2.2.13. Розрахунок зміни ентропії в ізопроцесах ідеального газу.
- 2.2.14. Еквівалентні формулювання другого начала термодинаміки.
- 2.2.15. Друге начало термодинаміки і ентропія.
- 2.2.16. Розрахунок к.к.д. за допомогою ентропії.
- 2.2.17. Зміна ентропії у необоротних процесах.
- 2.2.18. Статистичний зміст другого начала термодинаміки.
- 2.2.19. Відхилення властивостей газів від ідеальних. Стисливість. Рівняння Ван-дер-Ваальса.
- 2.2.20. Фізичний зміст постійних у рівнянні Ван-дер-Ваальса.
- 2.2.21. Ізотерми Ван-дер-Ваальса. Метастабільні; стани. Закон відповідних станів.
- 2.2.22. Перехід з газоподібного стану у рідину. Експериментальні ізотерми. Область двофазних станів. Насичена пара. Правило важеля.
- 2.2.23. Критичний стан. Властивості критичного стану. Критичні параметри.
- 2.2.24. Внутрішня енергія газу Ван-дер-Ваальса.
- 2.2.25. Ефект Джоуля-Томсона. Фізичний зміст ефекту. Диференціальний і Інтегральний ефект Джоуля-Томсона.
- 2.2.26. Ефект Джоуля-Томсона в газі Ван-дер-Ваальса
- 2.2.27. Зрідження газів. Властивості речовини при температурах, близьких до нуля.
- 2.2.28. Структура рідин. Близький порядок. Залежність властивостей рідин від будови молекул.
- 2.2.29. Рідкі кристали. Типи рідких кристалів. Властивості і використання рідких кристалів.
- 2.2.30. Поверхневий натяг. Вільна поверхнева енергія.
- 2.2.31. Умова рівноваги на межі двох рідин і на межі рідина-тверде тіло
- 2.2.32. Тиск під викривленою поверхнею. Капілярні явища. Поверхневоактивні речовини. Випарування і кипіння рідин.
- 2.2.33. Зміст динамічної рівноваги на границі пара-рідина. Властивість системи пара-рідина.
- 2.2.34. Тиск насиченої пари поблизу викривленої поверхні рідини. Кипіння. Перегріта рідина. Бульбашкова камера. Перехолоджена пара. Камера Вільсона.
- 2.2.35. Рівняння Клапейрона-Клаузіуса. Вивід рівняння. Наближений інтеграл рівняння Клапейрона-Клаузіуса.

- 2.2.36. Рідкі розчини і їх кількісна характеристика. Розчинність. Теплота розчинності.
- 2.2.37. Ідеальні розчини. Закон Рауля. Закон Генрі.
- 2.2.38. Залежність розчинності від температури. Діаграма стану розчину.
- 2.2.39. Кипіння різних розчинів. Особливості кипіння розчинів. Діаграми стану бінарних сумішей. Розділення компонент розчину. Підвищення точки кипіння розчину.
- 2.2.40. Осматичний тиск. Механізм його виникнення Закономірності осматичного тиску. Прояв осматичного тиску.
- 2.2.41. Симетрія твердих тіл. Вісь симетрії n-го порядку Площина симетрії. Дзеркально-поворотна вісь n-го порядку.
- 2.2.42. Точкові групи симетрії. Дзеркальні ізомери.
- 2.2.43. Кристалічні ґратки. Примітивна ґратка. Неоднозначність вибору базису примітивної ґратки.
- 2.2.44. Трансляційна симетрія. Елементи симетрії ґратки
- 2.2.45. Кристалографічні системи координат Позначення атомних площин і напрямків.
- 2.2.46. Механічні властивості твердих тіл.
- 2.2.47. Деформації. Пружні напруги. Коефіцієнт Пуассона.
- 2.2.48. Пластична деформація. Текучість.
- 2.2.49. Молекулярний механізм міцності.
- 2.2.50. Кристалізація плавлення. Кристалізація і сублімація. Фазові діаграми.
- 2.2.51. Аномальні речовини. Поліморфізм.
- 2.2.52. Фазові переходи першого і другого роду.
- 2.2.53. Основні якісні відомості про сплави, тверді розчини і полімери.

III. Питання

для самоконтролю знань з розділу загального курсу фізики "Молекулярна фізика і термодинаміка"

3.1. Вступні питання. Перший закон термодинаміки

- 3.1.1. Якими незалежними параметрами можна характеризувати стан рівноважної термодинамічної системи під час відсутності зовнішніх полів? Як прийнято називати співвідношення, що зв'язує між собою значення термодинамічних параметрів речовини в стані термодинамічної рівноваги? Який вигляд має це співвідношення для ідеального газу?
- 3.1.2. Що таке стан термодинамічної рівноваги?
- 3.1.3. Що таке емпірична абсолютна шкала температури?
- 3.1.4. Як може бути записане наближене рівняння стану реального газу? Коли воно переходить у рівняння стану ідеального газу?
- 3.1.5. Як залежить від температури коефіцієнт об'ємного розширення ідеального газу?
- 3.1.6. Як можна підрахувати роботу, виконану термодинамічною системою при переході її з одного стану в інший? Чи залежить ця робота від характеру термодинамічного процесу, пройденого системою? Чи є нескінченно малий приріст роботи повним диференціалом у математичному відношенні?
- 3.1.7. Які термодинамічні процеси називаються оборотними?
- 3.1.8. Що таке круговий термодинамічний процес? Чи є всі кругові процеси оборотними?
- 3.1.9. Яким фізичним і математичним умовам повинна задовольняти величина, яку можна назвати функцією стану системи? Які термодинамічні величини є функціями стану системи?
- 3.1.10. Що називається внутрішньою енергією системи? Чи є внутрішня енергія функцією стану системи?
- 3.1.11. Чи є нескінченно мале збільшення кількості тепла δQ у математичному відношенні повним диференціалом як от функції $Q(P,T)$ чи $Q(V,T)$?
- 3.1.12. Що таке теплоємність тіла? При яких умовах ця величина набуває визначений фізичний зміст? Чи обмежені якими-небудь межами можливі значення теплоємності? При яких умовах теплоємність буває негативною величиною?
- 3.1.13. Які досліди доводять, що молекулярно-кінетична енергія переходить в інші види енергії?
- 3.1.14. На підставі яких дослідів встановлена можливість вимірювати кількість тепла в одиницях механічної роботи?
- 3.1.15. У чому полягає зміст першого закону термодинаміки? Як записується математично перший закон термодинаміки?
- 3.1.16. У яких випадках збільшення внутрішньої енергії системи рівне підведеній до системи кількості тепла?
- 3.1.17. У яких випадках внутрішня енергія системи постійна?

- 3.1.18. У яких випадках зміна внутрішньої енергії системи дорівнює зовнішній роботі, яка виконана системою?
- 3.1.19. Який зв'язок між результуючою роботою, ідеальною системою при круговому термодинамічному процесі, і сумарною кількістю тепла, взятою і відданою системою в джерел тепла?
- 3.1.20. Чому перший закон термодинаміки еквівалентний твердженню про неможливість побудови вічного двигуна першого роду?
- 3.1.21. Який вираз для внутрішньої енергії газу, теплоємність якого не залежить від температури, можна записати, користаючись першим законом термодинаміки?
- 3.1.22. Як на досвіді з'ясовується питання про залежність внутрішньої енергії газу від його об'єму?
- 3.1.23. Як за допомогою математичного виразу першого закону термодинаміки знайти зв'язок між двома значеннями теплоємності ідеального газу C_p і C_v ?
- 3.1.24. У чому фізична причина відмінності значень теплоємності C_p і C_v для випадку ідеального газу?
- 3.1.25. Як вивести рівняння адіабатичного процесу для ідеального газу з першого закону термодинаміки?
- 3.1.26. Приведіть приклади природних і технічних адіабатних процесів? Як, використовуючи адіабатичний процес, можна знайти відношення C_p/C_v ?
- 3.1.27. Чому дорівнює робота, виконана ідеальним газом при адіабатичному процесі? При ізотермічному процесі?
- 3.1.28. За рахунок якого джерела енергії відбувається робота при ізотермічному процесі? Чи справедливе твердження, що газ, стиснутий у балоні, має запас потенціальної енергії, аналогічно стиснутій пружині?
- 3.1.29. До якого граничного значення прямує величина теплоємності тіла при наближенні умов термодинамічного процесу, для якого визначається теплоємність тіла, до ізотермічного (адіабатним)?
- 3.1.30. Якій умові задовольняють процеси, які називаються політропічними? Як записуються рівняння цих процесів?
- 3.1.31. Як довідатися на підставі PV – діаграми термодинамічного циклу, на яких його етапах тепло поглинається (віддається) робочим тілом?
- 3.1.32. Якій вимозі повинен задовольняти пристрій, що робить механічну роботу за рахунок підведеної кількості тепла для того, щоб цей пристрій міг вважатися тепловою машиною в термодинамічному змісті? Коли парова машина була винайдена Ползуновим?
- 3.1.33. Чи можна назвати тепловою машиною циліндр, наповнений газом і замкнутим поршнем, що у результаті нагрівання (охолодження) газу робить безупинний рух тільки в одну сторону?
- 3.1.34. Що називається к.к.д. теплової машини?
- 3.1.35. Чому дорівнює к.к.д. циклу Карно, здійснюваного з ідеальним газом?
- 3.1.35. Як працює машина Карно в якості холодильної?

3.1.36. У якій співвідношенні знаходиться к.к.д. теплової машини, що працює по довільному круговому оборотному циклі, з к.к.д. машини, що працює по циклу Карно між резервуарами і найвищою і найнижчою температурами, використовуваними в круговому циклі?

3.2. Другий закон термодинаміки

3.2.1. Які формулювання можна дати другому закону термодинаміки?

3.2.2. Який зміст має в різних випадках термін "компенсація", вжитий у формулюванні II закону Клаузіусом? Як можна довести еквівалентність формулювань Клаузіуса і Томсона-Планка?

3.2.3. Чи справедливе висловлюване іноді твердження, що другий закон термодинаміки не допускає можливості повного перетворення тепла в роботу?

3.2.4. У чому різниця "вічних двигунів" першого і другого роду?

3.2.5. Чому "створення" вічного двигуна другого роду було б практично еквівалентним "побудові" вічного двигуна першого роду?

3.2.6. У чому зміст теореми Карно? Як вона доводиться?

3.2.7. Як визначається абсолютна термодинамічна шкала температур? У чому її переваги перед емпіричною абсолютною шкалою температур? Як реалізується термодинамічна шкала температури?

3.2.8. Що таке приведена кількість тепла? Якій умові задовольняють приведені кількості тепла для циклу Карно? Якій умові вони задовольняють для довільного кругового процесу?

3.2.9. Як записується диференціал функції ентропії? Чи є ентропія функцією стану? Як записати другий закон термодинаміки за допомогою функції ентропії?

3.2.10. Як змінюється ентропія при оборотних і необоротних процесах? Чому дорівнює значення для необоротного кругового процесу? Температура яких тіл входить у цьому випадку в знаменник підінтегрального виразу?

3.2.11. Чи змінюється ентропія при адіабатичних процесах?

3.2.12. Як записується вираз для ентропії ідеального газу?

3.2.13. Чи змінюється ентропія ідеального газу при його адіабатному розширенні в порожнечу?

3.2.14. Чи можна здійснити в якій-небудь системі круговий необоротний адіабатний процес?

3.2.15. У якому напрямку змінюється ентропія системи при наближенні цієї системи до стану термодинамічної рівноваги?

3.2.16. Які співвідношення між термодинамічними величинами можна одержати, використовуючи умови, наприклад, що всі B є повним диференціалом функції S ?

3.2.17. Який існує зв'язок між алгебраїчним знаком коефіцієнта теплового розширення речовини і алгебраїчним знаком збільшення його температури

при адіабатичній деформації цієї речовини? Чи завжди речовини нагріваються при їхньому адіабатичному стискуванні?

3.2.18. Як за допомогою другого начала термодинаміки можна знайти співвідношення між значеннями C_p і C_v для довільної речовини? Коли значення теплоємності C_p і C_v рівні? Коли різниця цих величин прямує до нескінченності?

3.2.19. Чому всі процеси, що супроводжуються механічним тертям, є необоротними процесами?

3.2.20. Що можна сказати про значення к.к.д. необоротних теплових машин у порівнянні з к.к.д. оборотних машин, що працюють у тому ж інтервалі температур?

3.2.21. Чому цикли всіх практично створених теплових машин необоротні?

3.2.22. Були б які-небудь практичні незручності в оборотних машин, якби їх вдалося створити?

3.3. Різні фазові стани речовини і додатки термодинаміки до їх дослідження

3.3.1. Які існують статичні і динамічні методи вимірювання коефіцієнта поверхневого натягу рідини?

3.3.2. Чи змінюється температура поверхневої плівки рідини при її розтягуванні (стягуванні)? Як залежить поверхневий натяг рідини від температури?

3.3.3. При яких умовах рідина змочує (не змочує) тверде тіло?

3.3.4. Як зв'язаний надлишковий тиск поверхневої плівки рідини з кривизною її поверхні? Як розрахувати висоту капілярного підйому (депресії) рідини?

3.3.5. Що таке термодинамічна фаза речовини?

3.3.6. Чи співпадає поняття термодинамічної фази речовини з поняттям агрегатного стану речовини?

3.3.7. Як виглядають ізотерми реального газу? Як вони змінюються при наближенні температури до критичного для даної речовини значення?

3.3.8. Як Менделєєв передбачив наявність критичної точки?

3.3.9. Яке значення приймає ізотермічна стискуваність речовини в його критичній точці?

3.3.10. Яке значення має прихована теплота пароутворення і поверхневим натяг речовини в критичній точці?

3.3.11. Як змінюються питомі об'єми рідкої і газової фаз речовини поблизу його критичної точки?

3.3.12. У якому інтервалі характерних для даної речовини температур вона може утворити рівноважну двохфазну систему рідини і її насичуючої пари? Чи буде в даному інтервалі температур двохфазна рівноважна система існувати при будь-якому тиску?

3.3.13. Що таке насичуюча пара? Від чого залежить тиск насичуючої пари?

3.3.14. При яких умовах має місце процес кипіння рідини?

- 3.3.15. Як здійснити безупинний перехід речовини з рідкої фази в газову (або навпаки) без розшарування системи на дві фази?
- 3.3.16. Що таке метастабільні стани речовини? Як вони здійснюються? Як вони зображуються на термодинамічній діаграмі?
- 3.3.17. Як залежить тиск насиченої пари від кривизни її поверхні?
- 3.3.18. Чому при внесенні в перегріту рідину тіл, що виділяють пухирці газу, рідина бурхливо закипає? Чому при внесенні порошин у пересичену пару в ній починається процес конденсації крапель туману? Чому наявність електричних іонів у пересиченій парі, полегшує його конденсацію? Які важливі застосування знаходять стани перегрітої рідини і пересиченої пари? У яких випадках стан перегріву рідини є технічно небезпечним?
- 3.3.19. У чому полягає явище капілярної конденсації парів? Яку роль грає цей процес у природних умовах?
- 3.3.20. На підставі яких міркувань складене рівняння стану реального газу Ван-дер-Ваальса?
- 3.3.21. Який фізичний зміст різних ділянок ізотерм Ван-дер-Ваальса?
- 3.3.22. Як, користаючись PV – діаграмою реального газу, знайти співвідношення між кількістю речовини в рідкій і газовій фазах для двофазних станів речовини?
- 3.3.23. Як знайти критичний об'єм речовини, користаючись рівнянням Ван-дер-Ваальса?
- 3.3.24. Яке чисельне значення для азоту, кисню, водню мають величини a і b , що входять у рівняння Ван-дер-Ваальса?
- 3.3.25. Які чисельні значення мають критичні параметри вуглекислоти, азоту, водню, гелію? Які температури нормального кипіння цих газів?
- 3.3.26. Від яких термодинамічних параметрів залежить внутрішня енергія Ван-дер-Ваальса?
- 3.3.27. У чому суть процесу дроселювання газу? Чи є випуск стиснутого газу в порожнечу процесом дроселювання? Як змінюється температура ідеального (реального) газу при випусканні його в порожнечу?
- 3.3.28. У чому полягає явище Джоуля-Томсона? Як воно використовується для зрідження газів? Яким рівнянням описується це явище?
- 3.3.29. Як виражається зниження температури газу Ван-дер-Ваальса при його дроселюванні через значення інших термодинамічних параметрів газу?
- 3.3.30. Яка принципова схема процесу зрідження газу, що використовує дроселювання газу?
- 3.3.31. Яка температура називається температурою інверсії ефекту Джоуля-Томсона? Яке значення мають температури для повітря, водню, гелію? Чому небезпечно випускати стиснутий водень із балона, навіть під час відсутності вогню у приміщенні?
- 3.3.32. Який існує зв'язок між значеннями температури інверсії Джоуля-Томсона ефекту і критичною температурою для газу Ван-дер-Ваальса?
- 3.3.33. Які значення повинні мати величини a і b в рівнянні Ван-дер-Ваальса, щоб газ завжди охолоджувався (нагрівався) при дроселюванні?

- 3.3.34. У чому полягає принцип детандерного методу одержання рідких газів?
- 3.3.35. Чому проблема одержання низьких температур зв'язана з задачею зрідження газів? Чим визначаються межі інтервалу температури для кожного зрідженого газу, в яких він ефективний у якості охолоджуючого засобу? Які значення цих меж для повітря, азоту, водню? Чим визначаються ці межі для He^4 і для He^3 ?
- 3.3.36. Які величини зв'язують між собою рівняння Клапейрона-Клаузіуса для однокомпонентної двофазної системи? З яких міркувань виводиться це рівняння?
- 3.3.37. Що таке РТ – діаграма речовини? Як на ній виглядає графік процесу сублімації речовини? Як застосувати рівняння Клапейрона-Клаузіуса до процесу сублімації?
- 3.3.38. Що таке потрійна точка речовини? Які чисельні значення параметрів деяких речовин у їхніх потрійних точках?
- 3.3.39. Які два можливі ходи графіка плавлення на діаграмі речовини?
- 3.3.40. Для яких речовин температура потрійної точки є найвищою температурою, при якій може існувати кристалічна фаза речовини, якщо речовина кристалізується в одній тільки кристалічній модифікації?
- 3.3.41. Для яких речовин температура і тиск у потрійній точці є мінімальні значення цих двох параметрів, при яких може існувати рідка фаза речовини?
- 3.3.42. Чи можливий безупинний процес перетворення рідкої фази речовини в кристалічну?
- 3.3.43. Який вид має РТ – діаграма речовини, що кристалізується в двох кристалічних модифікаціях?
- 3.3.44. У чому полягає зміст так званого правила фаз?
- 3.3.45. Як, користаючись РТ – діаграмою, пояснити поведінку твердої вуглекислоти при атмосферному тиску?
- 3.3.46. Чому стиснута в балоні рідка вуглекислота охолоджується і кристалізується при її випусканні в атмосферу?
- 3.3.47. Який вид має VT – діаграма речовини, що зображує умови співіснування газової, рідкої і твердої фаз речовини?
- 3.3.48. При якій умові можливо кристалізувати шляхом охолодження речовину, розміщену в незмінному об'ємі, з вихідного стану при $T > T_{\text{кр}}$, не створюючи попередньо двофазної системи рідина-газ? Чи можна здійснити зазначений процес для гелію?
- 3.3.49. Як підрахувати зміну ентропії речовини при її фазовому перетворенні першого роду?
- 3.3.50. Що таке метастабільні стани твердої і рідкої фаз речовини? Чи можливі перегриви кристалів?
- 3.3.51. Що являє собою скло з термодинамічної точки зору?
- 3.3.52. Які існують елементи симетрії кристалічних ґраток? Скільки відомо типів симетрії кристалічних ґраток Браве?

- 3.3.53. У чому полягають фазові перетворення у твердих тілах?
- 3.3.54. Які перетворення носять назву перетворень першого
- 3.3.55. Які приклади фазових перетворень першого і другого роду у твердих тілах вам відомі?
- 3.3.56. Як залежить від температури теплоємність поблизу фазових перетворень другого роду?
- 3.3.57. Як виглядає РТ – діаграма для гелію? Де розташована на ній крива фазових переходів другого роду? Для якого ізотопу гелію це фазове перетворення має місце?
- 3.3.58. Чому рідкий гелій He-II не кипить у дюарівській посудині, хоча його температура нижча температури інтенсивно кипінні рідкого гелію He-I?
- 3.3.59. До якої межі прямують значення термодинамічних параметрів речовини (теплоємності, коефіцієнта теплового розширення) при температурах, близьких до абсолютного нуля?
- 3.3.60. Чи можна дати які-небудь вказівки про взаємний нахил ізотерм і адіабат речовини при $T \rightarrow 0$?

3.4. Молекулярно-кінетична природа теплових явищ

- 3.4.1. На яких основних дослідних фактах оснований молекулярно-статистичний розгляд властивостей речовини?
- 3.4.2. Що таке броунівський рух дрібних часток? Як поставити дослід по його спостереженню? Який параметр цього руху доцільно експериментально спостерігати? Чому на досліді не вимірюють швидкість броунівських часток, яка у багато разів менша швидкості молекул середовища, у якому частки зважені?
- 3.4.3. У чому полягає закон Ейнштейна?
- 3.4.4. Як вимірюються на досліді швидкості атомів і молекул? Які результати цих вимірів? Від яких параметрів газу залежить швидкість руху його молекул?
- 3.4.5. У чому полягає закон Максвелла? Який його математичний вираз? Як його застосовувати для обчислення різних значень швидкості газових молекул? Як він перевіряється на досліді?
- 3.4.6. Як виводиться основне рівняння кінетичної теорії газів?
- 3.4.7. Який зміст отримує термодинамічний параметр температури при молекулярно-кінетичному досліджуванні теплових властивостей речовини?
- 3.4.8. У якому співвідношенні знаходяться між собою середні кінетичні енергії теплового руху різних часток речовини в стані його термодинамічної рівноваги?
- 3.4.9. У чому полягає зміст теореми про рівномірний розподіл енергії по ступенях вільності? Які границі застосовності цієї теореми?
- 3.4.10. На якому експериментальному матеріалі перевіряється ця теорема?

- 3.4.11. Які робляться припущення про будову молекул при розрахунку теплоємності газу на підставі теореми про рівномірний розподіл енергії по ступенях вільності?
- 3.4.12. Як залежить від температури теплоємність газу? Як виглядає графік цієї залежності для двоатомного газу, наприклад для водню?
- 3.4.13. Поблизу якої температури знайдене на досліді значення теплоємності молекулярного водню наближається до значення теплоємності одноатомного газу?
- 3.4.14. Які результати вивчення температурної залежності теплоємності твердих тіл?
- 3.4.15. Як одержати закон Дюлонга і Пті із теореми про рівномірний розподіл енергії по ступенях вільності?
- 3.4.16. У чому суть квантової теорії теплоємності? Як вона пояснює обмежену справедливість теореми про рівномірний розподіл енергії по ступенях вільності? Як застосовується квантова теорія до розрахунку теплоємності твердих тіл? Яке пояснення температурної залежності теплоємності газів дає квантова теорія? Як квантова теорія пояснює необхідність враховувати при нормальних умовах тільки 5 ступенів вільності із 6 для двоатомних молекул газу, побудованих з атомів скінченного розміру?
- 3.4.17. Коли при вимірюваннях теплоємності речовини виникає вклад електронів у її значення?
- 3.4.18. Як поводить газ у полі сил тяжіння? Що таке барометрична формула?
- 3.4.19. Чи залежить середня кінетична енергія молекул у різних шарах газу, що знаходиться у рівновазі в полі тяжіння від положення цих шарів у полі тяжіння?
- 3.4.20. У чому зміст закону Больцмана? Які приклади застосування закону Больцмана можна привести?
- 3.4.21. Як барометрична формула перевірялася Перреном для емульсій? Як можна знайти число Авогадро методом Перрена?
- 3.4.22. У чому суть магнітного методу одержання наднизьких температур? Чому магнітний метод охолодження застосуємо тільки в умовах попереднього глибокого охолодження речовини? Як саме етапи попереднього охолодження речовини повинні передувати застосуванню магнітного охолодження? Як вимірюються досягнуті магнітним методом низькі температури? Чи можна досягти магнітним методом охолодження абсолютного нуля температури?
- 3.4.23. Що таке статистична флуктуація? Флуктуації яких величин вам відомі? Як виявляються флуктуації на досліді?
- 3.4.24. Чому флуктуації обмежують чутливість точних вимірювальних приладів?
- 3.4.25. Що називається імовірністю якої-небудь випадкової події? Які прості приклади підрахунку імовірності розподілу молекул можна привести?

- 3.4.26. Який статистичний зміст термодинамічної необоротності?
- 3.4.27. Які явища носять загальну назву явищ переносу?
- 3.4.28. У чому суть явищ дифузії, внутрішнього тертя, теплопровідності з молекулярної точки зору? Для чого застосовується процес дифузії в газах? Що таке термодифузія?
- 3.4.29. Який вид мають рівняння переносу у феноменологічному записі?
- 3.4.30. До якого класу термодинамічних процесів відносяться явища переносу?
- 3.4.31. Що таке "середня довжина вільного пробігу молекул у газі"? Чи може вона бути виміряна на досліді?
- 3.4.32. Як отримуються рівняння переносу в кінетичній теорії газів? Як розкриваються молекулярно-кінетичні вирази рівнянь переносу, введені у феноменологічних рівняннях?
- 3.4.33. Які результати для залежності коефіцієнтів переносу від температури і тиску дають кінетичні вирази цих коефіцієнтів для випадку газу?
- 3.4.34. Які існують зв'язки між різними коефіцієнтами переносу?
- 3.4.35. Які границі застосовності рівнянь переносу? У чому труднощі застосування цих рівнянь до розріджених газів?
- 3.4.36. При яких умовах газ варто вважати розрідженим?
- 3.4.37. Які особливості явищ переносу в розріджених газах?
- 3.4.38. Які особливості умов рівноваги розріджених газів у сполучених посудинах, що знаходяться при різних температурах?

IV. Завдання синтезів

з курсу загальної фізики, розділу "Молекулярна фізика і термодинаміка"

4.1. Збірники задач

- 4.1.1. Заг. фізика. Збірник задач. За загальною редакцією І.І. Горбачука: – Київ "Вища школа", 1993р 360с
- 4.1.2. Е.И. Бабаджян, В.И. Гервиде. В.М. Дубовик, З.А. Нерсесов Сборник качественных вопросов и задач по общей физике, – М. Наука. 1990. 310 с.
- 4.1.3. В.С. Волькенштейн. Сборник задач по общему курсу физики, – М. Наука 1984. 380с.
- 4.1.4. И. Савельев. Сборник вопросов и задач по общей физике. М. Наука. 1988. 88с.

4.2. Методично-навчальні посібники

- 4.2.1. О.Н. Касандрова, А.Н. Матвеев, В.В. Попов, Методика решения задач по молекулярной физике. – Изд. Московского университета. 1982. 202с.
- 4.2.2. Н.А. Остроухов і ін. – Розв'язування задач з курсу загальної фізики. Практикум. – К. «Рад. школа». 1966. 503 с.
- 4.2.3. В.Л. Булат и др. Задачник практикум по курсу общей физики. Молекулярная физика и введение в термодинамику – М. Просвещение, 1975.
- 4.2.4. Е.М. Новодворская. Методика – проведення упражнений по физике в вузе. – М. Высшая школа. 1970. 336 с.
- 4.2.5. Л.И. Анциферов, Г.М. Панькевич, И.М. Пищиков Практикум по решению физических задач. "Механика. Молекулярная физика" – Курск, 1982. 110 с.

4.3. Задачі для першого синтезу

- 4.3.1. Скільки молекул міститься в 4г кисню?
- 4.3.2. Визначити молярну масу води (H_2O). Скільки молів молекул води міститься в 1 кг води? Скільки молекул води міститься в 1 м^3 води? Розрахувати масу і об'єм однієї молекули води.
- 4.3.3. Який об'єм займуть 10^{20} молів скляних кульок радіусом 1см при щільній їх упаковці?
- 4.3.4. Посудина з теплоізолюваними стінками поділена рухомою теплопровідною перегородкою на дві частини, відношення об'ємів яких у рівноважному стані перегородки $V_1/V_2=1/2$ при температурах відповідно в цих частинах $T_1=102\text{ }^\circ\text{C}$ і $T_2=227\text{ }^\circ\text{C}$. Знайти відношення об'ємів, які встановлюються після вирівнювання температур.
- 4.3.5. У посудині міститься $m_1=100$ г гелію і $m_2=50$ г азоту при температурі $T=25\text{ }^\circ\text{C}$ і тиску 200 кПа. Обчислити густину суміші.

4.3.6. Футбольний м'яч, об'єм якого $V=3,4 \text{ дм}^3$, нагнітають повітрям за допомогою насоса. Який тиск встановиться в камері м'яча після $n=50$ качань, якщо при кожному циклі роботи, насос забирає з навколишнього середовища $V_0=100 \text{ см}^3$ повітря при нормальному атмосферному тиску?

4.3.7. У посудині знаходиться повітря при нормальному атмосферному тиску. Після $n=4$ циклів всмоктувального насоса тиск у посудині знизився до $p=1 \text{ кПа}$. Розрахувати відношення об'ємів посудини і камери насоса. Вважати, що температура під час процесу відкачування не змінювалась.

4.3.8. Два резервуари місткостями $V_1=25 \text{ л}$ і $V_2=15 \text{ л}$ з'єднані між собою трубкою з клапаном, через який газ переходить з більшого резервуара в менший при досягненні різниці тисків у них $\Delta p=120 \text{ кПа}$. При температурі $T=27 \text{ }^\circ\text{C}$ більший резервуар містить газ при нормальному тиску, а менший повністю вакуумований. Який тиск встановиться в меншому резервуарі, якщо обидва їх нагріти до $T_2=27 \text{ }^\circ\text{C}$?

4.3.9. Посередині відкачаного і запаяного з обох кінців капіляру, розміщеного горизонтально, знаходиться стовпчик ртуті довжиною $l=20 \text{ см}$. Якщо капіляр поставити вертикально, то стовпчик ртуті переміститься на $\Delta l=10 \text{ см}$. До якого тиску p_0 був відкачаний капіляр? Довжина капіляру $L=1 \text{ м}$.

4.3.10. Якою повинна бути вага P оболонки дитячої повітряної кульки, наповненої воднем, щоб результуюча підймальна сила кульки $F=0$, тобто, щоб кулька знаходилась в підвішеному стані? Повітря і водень знаходяться при нормальних умовах. Тиск в середині кульки рівний зовнішньому тиску. Радіус кульки $r=12,5 \text{ см}$.

4.3.11. В закритій посудині об'ємом $V=1 \text{ м}^3$ знаходиться маса $m_1=1,6 \text{ кг}$ кисню і маса $m_2=0,9 \text{ кг}$ води. Знайти тиск p в посудині при температурі $T=500 \text{ }^\circ\text{C}$, знаючи, що при цій температурі вся вода перетворюється в пару.

4.3.12. В посудині об'ємом $V=2 \text{ л}$ знаходиться маса $m_1=6 \text{ г}$ вуглекислого газу (CO_2) і маса $m_2=5 \text{ г}$ закису азоту (N_2O) при температурі $T=127 \text{ }^\circ\text{C}$. Знайти тиск p суміші в посудині.

4.3.13. Закрита посудина об'ємом $V=2 \text{ л}$ наповнена повітрям при нормальних умовах. В посудину вводиться диетиловий ефір ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OC}_2\text{H}_5$). Після того як весь ефір випарувався, тиск в посудині став рівний $p=0,14 \text{ МПа}$. Яка маса m ефіру була введена в посудину?

4.3.14. Зобразити для ідеального газу приблизні графіки ізохоричного, ізотермічного, ізобаричного та адіабатичного процесів на діаграмах: а) P, V ; б) T, V ; в) T, P . Графіки зобразити так, щоб вони проходили через спільну для них точку.

4.3.15. В ряді випадків молекулу газу дозволено представляти у вигляді кульки діаметром d . Знайти число зіткнень ν_{BM} за одиницю часу виділеної молекули газу з іншими молекулами. Середня швидкість відносного руху молекул газу $\langle n_{\text{відн}} \rangle$ концентрація молекул n . Як середня швидкість

відносного руху однакових молекул пов'язана із середньою швидкістю їх руху по відношенню до стінок посудини $\langle n \rangle$?

4.3.16. Використовуючи відповідь до попередньої задачі, обчислити $v_{\text{ВМ}}$ для повітря при нормальних умовах ($n=2,7 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$, $\langle n \rangle=0,45 \text{ км/с}$), приймаючи "діаметр молекул повітря" рівними $3,7 \text{ \AA}$.

4.3.17. Визначити час τ і довжину λ вільного пробігу молекул повітря при нормальних умовах (див. задачу 4.4.16.). Оцінити відношення λ до середньої відстані між молекулами $\langle r \rangle$.

4.3.18. Атмосферне повітря складається переважно з кисню, азоту і аргону. Визначити кількість молекул цих газів та їхні маси в одиниці об'єму при нормальних умовах, якщо відомо, що кількість молекул азоту в 4 рази більша, а аргону в 20 разів менша від кількості молекул кисню.

4.3.19. У посудині місткістю $V=2 \text{ л}$ знаходиться $m=2 \text{ г}$ гідриду урану (UH_3). При нагріванні до температури $T=673 \text{ К}$ гідрид повністю розпадається на уран з атомною масою $M_a=238$ і атомарний водень. Визначити тиск водню в посудині при цій температурі.

4.3.20. У циліндрі під поршнем знаходиться газ при нормальних атмосферних умовах. Спочатку при $T=\text{const}$ об'єм газу збільшили у $\beta=5$ разів, потім нагріли при $p=\text{const}$ до температури $T=127^\circ\text{C}$. Визначити концентрацію n_0 молекул в кінцевому стані.

4.3.21. У посудині місткістю $V=3 \text{ дм}^3$ знаходиться азот при температурі $T=17^\circ\text{C}$ і тиску $p=10^{-4} \text{ Па}$. Визначити кількість молекул азоту в посудині, масу азоту і середню енергію поступального теплового руху молекул газу.

4.3.22. В посудині знаходиться вуглекислий газ. При деякій температурі ступінь дисоціації молекул вуглекислого газу на кисень і окис вуглецю $\alpha=0,25$. У скільки разів тиск в посудині при цих умовах буде більше того тиску, який мав би місце, якщо б молекули вуглекислого газу не були дисоційовані?

4.3.23. В посудині знаходиться маса $m_1=10 \text{ г}$ вуглекислого газу і маса $m_2=5 \text{ г}$ азоту. Знайти густину ρ суміші при температурі $T=27^\circ\text{C}$ і тиску $p=150 \text{ кПа}$.

4.3.24. Молекула аргону рухаючись зі швидкістю $v=500 \text{ м/с}$, пружно вдаряється в стінку посудини. Напрямок швидкості молекули і нормаль до стінки посудини складають кут $\alpha=60^\circ$. Знайти імпульс сили $F\Delta t$, що отримала стінка посудини за час удару.

4.3.25. Яка кількість частинок n знаходиться в одиниці маси пароподібного йоду (I_2), ступінь дисоціації якого $\alpha=0,5$? Молярна маса молекулярного йоду $M=0,254 \text{ кг/моль}$.

4.3.26. Знайти співвідношення середніх квадратичних швидкостей молекул гелію і азоту при однакових температурах.

- 4.3.27. Функція розподілу ймовірностей величини x має вигляд $(x) = Ae^{-a/x^2} 4px^2$, де A і a - константи. Написати наближений вираз для ймовірності P того, що значення x виявиться в межах від 7 999 до 8,0001.
- 4.3.28. Азот (N_2) знаходиться в рівноважному стані при $T=421$ К.
1. Знайти найбільш імовірну швидкість молекул u_{VM} .
 2. Визначити відносне число $\Delta N/N$ молекул, швидкості яких знаходяться в межах: а) від 499,9 до 500,1 м/с; б) від 249,9 до 250,1 м/с; в) від 749,9 до 750,1 м/с; г) від 999,9 до 1000,1 м/с.
- 4.3.29. Встановлена вертикально закрита з обох кінців труба наповнена газоподібним киснем (O_2). Висота труби $h = 200$ м. об'єм $V=200$ л. Стінки труби мають всюди однакову температуру $T = 293$ К. Тиск газу в середині труби, поблизу її основи рівний $p_0=1.00 \cdot 10^5$ Па. Визначити:
- а) тиск p в трубі поблизу її верхнього кінця;
 - б) кількість N молекул кисню, які містяться в трубі.
- 4.3.30. Закрита з одного кінця труба довжиною $l=1,00$ м обертається навколо перпендикулярної до неї вертикальної осі, що проходить через відкритий кінець труби, з кутовою швидкістю $\omega=62,8$ рад/с. Тиск навколишнього повітря $p_0=1,00 \cdot 10^3$ Па, температура $T=20$ °С. Знайти тиск p повітря в трубі поблизу закритого кінця.
- 4.3.31. Азот знаходиться при температурі $T=600$ К. Яка ймовірність того, що молекула азоту має швидкість, точно рівну 500 м/с, тобто 500,(0) (нуль в періоді) м/с? Яка ймовірність $\Delta \omega$ того, що швидкість молекули має значення в інтервалі від $v_1=499,5$ м/с до $v_2=500$ м/с ?
- 4.3.32. Знайти, чому дорівнює середня довжина вільного пробігу молекул азоту при температурі $T=77$ °С і тиску $p=133$ Па.
- 4.3.33. Знайти густину водню в посудині, якщо відомо, що середня довжина вільного пробігу його молекул 1,2 мм.
- 4.3.34. Знайти концентрацію, середню довжину вільного пробігу і середній час між зіткненнями молекул газоподібного азоту: а) при нормальних атмосферних умовах; б) при тиску $p=1,0$ нПа і температурі $T=17$ °С.
- 4.3.35. Розрахувати коефіцієнт дифузії і динамічної в'язкості водяної пари при тиску 100 кПа і температурі 17°С.
- 4.3.36. Розрахувати втрати теплоти в кімнаті протягом 1 год через вікно внаслідок теплопровідності повітря між рамами, якщо площа рами вікна $\Delta S=5$ м², відстань між рамами $\Delta x=8$ см, температура в кімнаті 20 °С, зовні — 20 °С. Температуру повітря між рамами вважати такою, що дорівнює середньому арифметичному температур у кімнаті і за вікном.
- 4.3.37. У посудині Дюара циліндричної форми знаходиться лід при 0 °С. Радіус внутрішнього циліндра 5 см, висота 20 см, відстань між стінками 7 мм. Температура повітря в кімнаті 20 °С. Розрахувати, яка маса m льоду розтане протягом однієї години внаслідок теплопровідності повітря між стінками посудини Дюара, вважаючи, що тиск повітря між стінками не відповідає умовам вакууму.

4.3.38. При деяких умовах коефіцієнти дифузії і динамічної в'язкості азоту відповідно дорівнюють $20,9 \text{ мм}^2/\text{с}$ та $17,7 \text{ мкПа}\cdot\text{с}$. Розрахувати за цими даними концентрацію молекул азоту та його коефіцієнт теплопровідності.

4.4. Задачі для другого синтезу:

4.4.1. Температура одного моля ідеального газу з відомим γ підвищується на ΔT при ізобаричному, ізохоричному та адіабатичному процесах. Визначити приріст внутрішньої енергії ΔU газу для всіх трьох випадків.

4.4.2. Деяка кількість ідеального газу з трьохатомними жорсткими молекулами перейшла адіабатично із стану з температурою $T_1=280 \text{ К}$ в стан із параметрами: $T_2=320 \text{ К}$, $p_2=2,00 \cdot 10^5 \text{ Па}$, $V_2=50,0 \text{ л}$. Яку роботу A виконує при цьому газ ?

4.4.3. Закритий циліндр розділений на дві частини поршнем радіусом $r=10,0 \text{ см}$ і масою $m=1,00 \text{ кг}$, який може переміщуватися без тертя. Встановивши поршень в середнє положення, обидві частини циліндру заповнюють газом до однакового тиску $p_0=1,00 \cdot 10^5 \text{ Па}$. Об'єм газу в кожній із половин $V_0=5,00 \text{ л}$. Газ можна вважати ідеальним, його $\gamma=1,40$. Нехтуючи теплообміном через стінки циліндру і через поршень, знайти частоту ν коливань поршня, що виникають при невеликому зміщенні поршня з середнього положення.

4.4.4. Моль ідеального газу, який мав початкову температуру $T_1=290 \text{ К}$, розширюється ізобарично до тих пір, поки його об'єм не зросте в 2 рази. Потім газ охолоджується до початкової температури T_1 . Визначити:

- а) приріст внутрішньої енергії ΔU ;
- б) роботу A яку виконує газ;
- в) кількість теплоти Q , яку отримує газ.

4.4.5. Теплоємність ідеального газу при деякому політропічному процесі дорівнює $C=C_v+0,1R$. Знайти значення показника політропи n цього процесу.

4.4.6. Ідеальний газ здійснює процес, в ході якого тиск p росте пропорційно об'єму V . Чи є цей процес політропним?

а) Нагрівається чи охолоджується ідеальний газ, якщо він розширюється за законом $pV^2=\text{const}$?

б) Яка молярна теплоємність C газу при цьому процесі?

4.4.7. В ході деякого політропічного процесу ідеальний газ ($\gamma=1,40$) був стиснений від об'єму $V_1=10 \text{ л}$, до об'єму $V_2=5,00 \text{ л}$. При цьому тиск зріс від $p_1=1000 \text{ гПа}$ до $p_2=5000 \text{ гПа}$. Визначити:

- а) показник політропи n ?
- б) молярну теплоємність C газу для процесу, що розглядається.

4.4.8. Чому рівна енергія теплового руху 20 г O_2 при $T_1=10 \text{ }^\circ\text{C}$? Яка частина її іде на поступальний і обертовий рух?

- 4.4.9. Молярна маса деякого газу $M=0,03$ кг/моль, відношення $C_p/C_v=1.4$. Знайти питомі теплоємності C_v і C_p цього газу.
- 4.4.10. Знайти питомі теплоємності C_v і C_p пароподібного йоду (I_2), якщо степінь його дисоціації $\alpha=0,5$. Молярна маса молекулярного йоду $M=0,254$ кг/моль.
- 4.4.11. Знайти степінь дисоціації α азоту, якщо для нього співвідношення C_v і $C_p=1,47$.
- 4.4.12. Зобразити для ідеального газу приблизні графіки ізотермічного ізобаричного, ізохоричного та адіабатичного процесів на діаграмі: а) T,S ; б) V,S ; в) P,S . Ентропію S відкладати по осі абсцис. Графіки зробити такими, що проходять через спільну для них точку.
- 4.4.13. Ентропія 1 г азоту при температурі 25°C і тиску $1,00\cdot 10^5$ Па дорівнює $S_1=6,84$ Дж/(гК). Визначити ентропію 2 г азоту при температурі 100°C і тиску $2,00\cdot 10^5$ Па.
- 4.4.14. Знайти приріст ентропії моля одноатомного ідеального газу при нагріванні його від 0 до 273°C у випадку, якщо нагрівання проходить:
- при сталому тиску;
 - при сталому об'ємі.
- 4.4.15. В ході оборотного ізотермічного процесу, що протікає при температурі $T=350$ К, тіло здійснює роботу $A=80$ Дж, а внутрішня енергія тіла отримує приріст $\Delta U=7,5$ Дж. Що відбувається з ентропією тіла?
- 4.4.16. Знайти приріст ентропії ΔS при конденсації маси $m=1$ кг пари, що знаходилась при температурі $T_1=100^\circ\text{C}$, в воду і наступним охолодженням води до температури $T_2=20^\circ\text{C}$. Враховувати що теплоємність води не залежить від температури. Конденсація відбувається при тиску, рівному 1 атм.
- 4.4.17. 1 г кисню спочатку міститься в об'ємі $V_1=0,2$ л під тиском $p_1=500$ Па. Потім газ розширився, в результаті чого об'єм газу став рівний $V_2=0,5$ л, а тиск рівний $p_2=200$ Па. Вважаючи газ ідеальним визначити:
- приріст ентропії газу dS ;
 - приріст внутрішньої енергії газу dU .
- 4.4.18. Посудина розділена на дві рівні частини перегородкою із закритим корком отвором. В одній із половин посудини міститься моль ідеального газу, в іншій половині посудини – вакуум. Корок забирають, і газ поширюється на весь об'єм. Вважаючи процес адіабатичним, визначити :
- приріст внутрішньої енергії газу ΔU_m ;
 - приріст ентропії газу ΔS .
- 4.4.19. Зобразити на діаграмі TP цикл, який здійснює ідеальний газ, що складається з: а) двох ізотерм і двох ізохор; б) двох ізобар і двох ізохор.
- 4.4.20. Зобразити на діаграмі TS цикл, який здійснює ідеальний газ, що складається з двох ізобар і двох ізохор.
- 4.4.21. Ідеальна теплова машина, яка працює за циклом Карно, $2/3$ теплоти, одержаної від нагрівника, передає холодильнику з температурою 10°C . Визначити температуру нагрівника.

4.4.22. У циклі Карно робочим тілом є двоатомний газ. Визначити ККД циклу, якщо при адіабатному розширенні об'єм газу збільшився від 8,0 до 10,2 дм³.

4.4.23. Робочим тілом замкненого циклу Карно, що складається з двох ізохор і двох ізобар (рис. 1), є ідеальний трьохатомний газ, молекули якого є жорсткими (об'ємними) системами. Відношення тисків $p_2/p_1=2,5$, а відношення об'ємів $V_2/V_1=4$. Визначити ККД циклу.

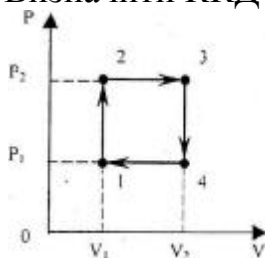


Рис. 1

4.4.24. Одноатомний ідеальний газ масою m з початковою температурою $T_1=300$ К ізохорно нагрівають до температури $T_2=500$ К, а потім ізобарно – до температури $T_3=700$ К. Після цього газ ізохорно охолоджують до початкового тиску і ізобарно повертають у вихідний стан. Обчислити ККД циклу.

4.4.25. З вуглекислим газом масою $m=0,28$ кг відбувається циклічний процес, зображений на рис. 2. Яку роботу виконує газ за один цикл, якщо на ділянці 2 – 3 об'єм збільшується в три рази, а температури станів 1 і 2 відповідно $T_1=27$ °С $T_2=217$ °С? На яких ділянках циклу до системи надходить теплота? Обчислити її величину та ККД циклу.

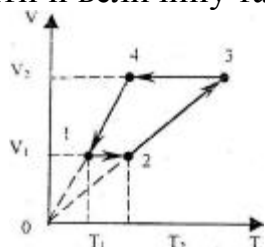


Рис. 2

4.4.26. Довести, що у циклі, який складається з адіабати, ізотерми та ізобари (рис. 3), вся поглинута ідеальним газом теплота перетворюється в роботу.

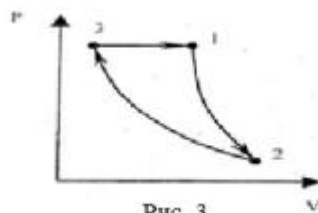


Рис. 3

4.4.27. Визначити ККД циклу з ідеальним газом, який складається з ізотерми, політропи і адіабати, якщо відомо, що ізотермічний процес відбувається при максимальній температурі циклу, а температура в межах циклу змінюється в n разів.

4.4.28. Знайти зміну ентропії одного моля ідеального газу при адіабатному, ізотермічному, ізохорному та ізобарному процесах.

4.4.29. При однакових початкових температурах і тисках змішали кисень масою 2,5 кг і вуглекислий газ масою 3 кг. Знайти зміну ентропії газів.

4.4.30. Кисень масою 96 г послідовно переходить із стану 1 з температурою 27 °С у стан 2 з температурою 114,3 °С і в стан 3 з температурою T_3 , а потім повертається в стан 1. Розрахувати температуру T_3 і зміну ентропії на ділянці 1 – 2 – 3 циклу, якщо зміна станів відбувалася так, як показано на рис. 4.

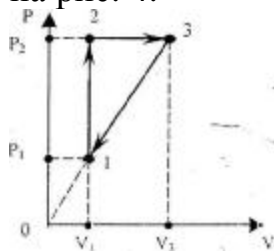


Рис. 4

4.5. Задачі для третього синтезу:

4.5.1. Азот при тиску 200 кПа має густину 2,25 кг/м³. Визначити температуру і внутрішній тиск газу, вважаючи його:

- а) ідеальним;
- б) реальним.

4.5.2. У посудині місткістю 5 л при температурі 27 °С знаходиться вуглекислий газ масою 0,4 кг. Яку частину тиску газу складає тиск, зумовлений силами притягання молекул? Яку частину об'єму посудини займає власний об'єм молекул?

4.5.3. Знайти молярні теплоємності C_p і C_v газу Ван-дер-Ваальса.

4.5.4. Обчислити, коли і в скільки разів кількість водяної пари в повітрі більша: пізньої осені після затяжних дощів при температурі 0 °С і відносній вологості 98 % чи сухого літнього місяця при температурі 30 °С і відносній вологості 50 %?

4.5.5. Довгий капіляр занурюють у воду. Через деякий час після того, як капіляр був герметично закритий зверху, рівень води в ньому знизився на $\Delta h = 3$ см. Визначити відносну вологість повітря біля поверхні води відкритої посудини, якщо температура навколишнього середовища $T = 17$ °С.

4.5.6. Над поверхнею Землі шар повітря площею $S = 3$ км² і висотою $h = 500$ м має температуру $T_1 = 18$ °С при відносній вологості $\phi = 80$ %. Знайти масу води, яка випала у вигляді дощу після, зниження температури до $T_2 = 12$ °С.

4.5.7. Визначити, на скільки зміниться температура рідини, якщо n крапель радіуса r зливаються в одну радіуса R . Густина рідини ρ , питома теплоємність C .

4.5.8. Яку масу води можна перенести в решеті діаметра $D=30$ см, якщо радіуси круглих отворів у дні $r=1$ мм, а вода повністю не змочує синтетичного матеріалу, з якого виготовлено дно решета?

4.5.9. Знайти ефективний діаметр σ молекули азоту двома способами:

а) по даному значенню середньої довжини вільного пробігу молекул при нормальних умовах $\bar{\lambda}=95$ нм;

б) по відомому значенню сталої b в рівнянні Ван-дер-Ваальса.

4.5.10. Знайти середню довжину вільного пробігу $\bar{\lambda}$ молекул вуглекислого газу при нормальних умовах. Ефективний діаметр σ молекули визначити, вважаючи відомим для вуглекислого газу критичні значення T_k і p_k .

4.5.11. Кількість $\nu=0,5$ кмоль деякого газу займає об'єм $V_1=1\text{ м}^3$. При розширенні газу до об'єму $V_2=1,2\text{ м}^3$ була виконана робота проти сил взаємодії молекул $A=5,684$ кДж. Знайти сталу a , яка входить в рівняння Ван-дер-Ваальса.

4.5.12. У скільки раз густина ρ_{h2} насиченої водяної пари при температур $T_1=200$ °С більше густини ρ_{h1} насиченої водяної пари при температурі $T_2=100$ °С ?

4.5.13. Температура кімнати $T_1=8$ °С, відносна вологість $\phi=0,5$. В металевий чайник налили холодну воду. Яка температура T_2 води, при якій чайник перестав бути запітнілим?

4.5.14. Тиски насиченої ртутної пари при температурах $T_1=100$ °С і $T_2=120$ °С рівні $p_1=37,3$ Па і $p_2=101,3$ Па. Знайти середнє значення питомої теплоти пароутворення λ ртуті у вказаному інтервалі температур.

4.5.15. При температурі $T_1=100$ °С густина ртуті $\rho_1=13,4\cdot 10^3$ кг/м³. При якій температурі T_1 густина ртуті $\rho_2=13,1\cdot 10^3$ кг/м³? Коефіцієнт об'ємного розширення ртуті $\beta = 1,8\cdot 10^{-4}$ К⁻¹.

4.5.16. Ртуть налита в скляну посудину висотою $L=10$ см. При температурі $T=20$ °С рівень ртуті на $h=1$ мм нижче верхнього краю посудини. На скільки можна нагріти ртуть, щоб вона не вилилась із посудини? Коефіцієнт об'ємного розширення ртуті $\beta=1,82\cdot 10^{-4}$ К⁻¹. Розширенням скла знехтувати.

4.5.17. Кільце внутрішнім діаметром $d_1=25$ мм і зовнішнім діаметром $d_2=26$ мм підвішене на пружині і торкається поверхні рідини. Жорсткість пружини $k=9,8\cdot 10^{-7}$ Н/м. При опусканні поверхні рідини кільце відірвалось від неї при розтягу пружини на $\Delta l=5,3$ мм. Знайти поверхневий натяг α рідини.

4.5.18. Вода по краплини витікає з посудини через вертикальну трубку внутрішнім діаметром $d=3$ мм. При охолодженні води від $T_1=100$ °С до $T_2=20$ °С маса кожної краплі змінилась на $\Delta m=13,5$ мг. Знаючи поверхневий натяг α_2 води при $t_2=20$ °С, знайти поверхневий натяг α_1 при $T_1=100$ °С. Діаметр шийки краплі в момент відриву вважати рівним внутрішньому діаметру трубки.

4.5.19. Яку роботу A проти сил поверхневого натягу потрібно виконати, щоб збільшити вдвічі об'єм мильної бульбашки радіусом $r=1$ см? Поверхневий натяг мильного розчину $\alpha=0,043$ Н/м.

4.5.20. Капілярна трубка опущена вертикально в посудину з водою. Верхній кінець трубки запаяний. Для того щоб рівень води в трубці і в широкій посудині був однаковий, трубку необхідно занурити у воду на 1,5 % її довжини. Знайти внутрішній радіус r трубки. Атмосферний тиск $p_0=100$ кПа. Змочування вважати повним.

4.5.21. Яку силу F необхідно прикласти, щоб відірвати одну від одної (без зсуву) дві змочені фотопластинки розміром $S=9 \times 12$ см²? Товщина водяного прошарку між пластинками $d=0,05$ мм. Змочування вважати повним.

4.5.22. Між двома горизонтальними плоскопаралельними скляними пластинками розміщено масу $m=5$ г ртуті. Коли на верхню пластинку поклали вантаж масою $M=5$ кг, відстань між пластинками стала рівною $d=0,087$ мм. Нехтуючи масою пластинки по відношенню до маси вантажу, знайти поверхневий натяг α ртуті. Незмочування вважати повним.

4.5.23. Користуючись законом Дюлонга і Пті, знайти у скільки разів питома теплоємність алюмінію більша від питомої теплоємності платини.

4.5.24. Яку силу F треба прикласти до кінців сталюгого стержня з площею поперечного перерізу $S=10$ см², щоб не дати йому розширитись при нагріванні $T_0=0$ °С до $T=30$ °С?

4.5.25. Однорідний стержень рівномірно обертається навколо вертикальної осі, що проходять через середину. Стержень розривається, коли швидкість кінця стержня досягає $v=380$ м/с. Знайти граничну міцність p матеріалу стержня. Густина матеріалу стержня $\rho=7,9 \cdot 10^3$.

4.5.26. При нагріванні деякого металу від $T_1=20$ °С до $T_2=400$ °С його густина зменшилась в 1,027 рази. Знайти для цього металу середній коефіцієнт об'ємного теплового розширення.

V. Фізичний лабораторний експеримент
з розділу "Молекулярна фізика і термодинаміка"
загального курсу фізики

5.1. Список лабораторних робіт

- 5.1.1. Визначення коефіцієнта в'язкості повітря капілярним методом.
- 5.1.2. Визначення розмірів молекули рицинової олії.
- 5.1.3. Визначення коефіцієнта теплопровідності повітря.
- 5.1.4. Визначення питомої теплоємності рідин електрокалориметром.
- 5.1.5. Визначення коефіцієнта поверхневого натягу рідин методом Ребіндера.
- 5.1.6. Визначення відношення теплоємності повітря при сталих тиску і об'єму.
- 5.1.7. Визначення залежності швидкості звуку в повітрі від температури і визначення відношення теплоємностей $\gamma = C_p/C_v$.
- 5.1.8. Визначення теплоємності твердих тіл.
- 5.1.9. Визначення в'язкості рідин методом Стокса.
- 5.1.10. Визначення вологості повітря. Гігрометри та психрометри.
- 5.1.11. Визначення зміни ентропії при плавленні олова.
- 5.1.12. Визначення молярної маси повітря методом відкачування.
- 5.1.13. Визначення кристалізації твердих тіл методом кривої охолодження.
- 5.1.14. Фазовий перехід першого роду на прикладі переходу води в пару при температурі кипіння.
- 5.1.15. Визначення критичної температури етилового спирту.
- 5.1.16. Перевірка основних та проміжних точок ртутного термометра.
- 5.1.17. Визначення середньої довжини вільного пробігу та ефективного діаметру молекул повітря.
- 5.1.18. Визначення коефіцієнта лінійного розширення твердих тіл методом Менделєєва.

5.2. Фізичні лабораторні практикуми

- 5.2.1 Д.М. Фреїк, А.В. Лисак, В.М. Чобанюк Молекулярна фізика. Термодинаміка. Фізичний практикум. – Івано-Франківськ: Прикарпатський національний університет, 2012. – 115 с.
- 5.2.2. Лабораторний практикум по общей физике под ред. Е.М. Гершензона и Н.Н. Малова – М.: Просвещение, 1985. – 351 с.
- 5.2.3. Фізичний практикум за загальною редакцією проф. В.П. Душенка – К.: Вища школа, 1984. – 256 с.
- 5.2.4. Загальна фізика: Лабораторний практикум під ред. І.Т. Горбачука – К.: Вища школа, 1992. – 509 с.

- 5.2.5. Л.Л. Гольдин й др. Лабораторные занятия по физике. – М.: Наука. 1983. – 704 с.
- 5.2.6. Лабораторный практикум по физике под ред. К.А. Барсукова и Ю.И. Уханова – М.: Высшая школа. 1988. – 351 с.
- 5.2.7. М.Є. Мєняйлов Лабораторний практикум з фізики. – К.: Вища школа. 1972. – 304 с.
- 5.2.8. Лабораторный практикум по физике под ред. А.С. Ахматова – М.: Высшая школа. 1980. – 360 с.

VI. Тестові завдання
з розділу "Молекулярна фізика і термодинаміка"
загального курсу фізики

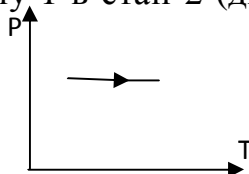
6.1. Зразки тестових завдань

6.1.1. Вказати на правильне співвідношення для сталої Больцмана:

а) $k = RN_A$; б) $k = \frac{N_A}{R}$; в) $k = \frac{R}{N_A}$.

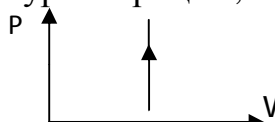
6.1.2. Газ переведений із стану 1 в стан 2 (див. рис.). Як змінилася густина газу?

- а) збільшується;
 б) зменшується;
 в) не змінюється.



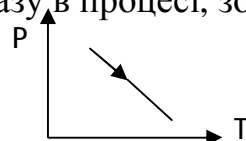
6.1.3. Як змінюється температура в процесі, зображеному на рис.?

- а) збільшується;
 б) зменшується;
 в) не змінюється.



6.1.4. Як змінюється об'єм газу в процесі, зображеному на рис.?

- а) збільшується;
 б) зменшується;
 в) не змінюється.



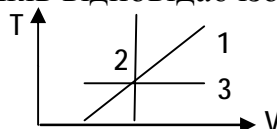
6.1.5. Зобразити всі ізопроцеси на діаграмі PV (щоб перетиналися в одній точці).

6.1.6. Яке з наведених співвідношень є законом Гей-Люссака?

а) $PV = \text{const}$; б) $V = V_0(1 + \alpha t)$; в) $V = \text{const} \cdot T$; г) $P = VT$.

6.1.7. Який з наведених графіків відповідає ізобарі?

- а) 1;
 б) 2;
 в) 3.



6.1.8. Скільки ступенів вільності має молекула двоатомного газу?

а) $i=3$; б) $i=6$; в) $i=5$; г) $i=1$.

6.1.9. Вказати енергію, яка виражає енергію одного кіломоля ідеального газу:

а) $U = \frac{i}{2}kT$; б) $U = \frac{i}{2}RT$; в) $U = RT$; г) $U = kT$.

6.1.10. Вказати формулу обчислення найбільш імовірної швидкості руху молекул:

а) $u = \sqrt{\frac{8RT}{pM}}$ б) $u = \sqrt{\frac{2RT}{pM}}$; в) $u = \sqrt{\frac{3RT}{M}}$.

6.1.11. Записати барометричну формулу (як змінюється тиск з висотою):

а) $p = p_0 e^{-\frac{Mgh}{RT}}$; б) $p = p_0 e^{\frac{Mgh}{kT}}$; в) $p = p_0 e^{-\frac{Mh}{RT}}$.

6.1.12. Вказати правильний вигляд основного рівняння молекулярно-кінетичної теорії газів:

а) $p = \frac{1}{3} \rho \bar{u}^2$; б) $p = \frac{1}{3} n E_k^0$; в) $p = nkT$.

6.1.13. Який вираз має найбільш імовірна швидкість?

а) $u_{im} = \sqrt{\frac{3RT}{M}}$; б) $u_{im} = \sqrt{\frac{2RT}{M}}$; в) $u_{im} = \sqrt{\frac{8RT}{\rho M}}$.

6.1.14. Як змінюється тиск газу з висотою?

а) не змінюється; б) зростає пропорційно до h^2 ; в) зменшується за експонентою; г) зростає за експонентою.

6.1.15. Вказати запис I начала термодинаміки для ізохорного процесу:

а) $dQ = dU$; б) $dQ = \delta A$; в) $dQ = dU + PdV$.

6.1.16. З якої із наведених умов газ буде розширюватися адіабатично

а) $dU + \delta A = 0$; б) $dQ = \delta A$. в) $dQ = dU$.

6.1.17. Вказати правильний запис для обчислення кількості теплоти для ізотермічного процесу

а) $dQ = 0$; б) $dQ = \frac{m}{M} C_V dT$; в) $dQ = \frac{m}{M} RT \ln \frac{V_2}{V_1}$.

6.1.18. Вказати на вираз для кількості теплоти для ізохорного процесу:

а) $dQ = \frac{m}{M} RT \ln \frac{V_2}{V_1}$; б) $dQ = \frac{m}{M} C_V dT$; в) $dQ = 0$.

6.1.19. Чому дорівнює відношення C_p/C_v для одноатомного ідеального газу:

а) 1,66; б) 1,33; в) 1,4.

6.1.20. Чому рівна робота при ізохорному процесі?

а) $\delta A = PdV$; б) $\delta A = \frac{m}{M} RT \ln \frac{V_2}{V_1}$; в) $\delta A = 0$.

6.6.21. Який вираз є рівнянням адіабати?

а) $PV_n = \text{const}$; б) $TV_{n-1} = \text{const}$; в) $TV_{\gamma-1} = \text{const}$.

6.1.22. Вказати на правильний вираз

а) $g = \frac{C_V}{C_p}$; б) $g = 1 + \frac{R}{C_V}$; в) $g = C_p - C_V$; г) $g = \frac{C_p}{C_V}$.

6.1.23. Вказати формулу тиску Лапласа для випадку поверхні будь-якої форми:

а) $s \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$; б) $\frac{2s}{R_1 + R_2}$; в) $\frac{2s}{R}$; г) $\frac{s}{R}$.

6.1.24. Що таке коефіцієнт поверхневого натягу рідини ?

а) величина потенціальної енергії яка припадає на одиницю об'єму рідини;

б) відношення роботи ізотермічного утворення поверхні рідини до площі цієї поверхні

6.1.25. Вказати правильне рівняння Ван-дер-Ваальса

а) $(p - \frac{m^2}{M^2} \frac{a}{V^2})(V - \frac{m}{M}b) = \frac{m}{M}RT$; б) $(p + n^2 \frac{a^2}{V^2})(V - nb^2) = \frac{m}{M}RT$;

в) $(p + \frac{m^2}{M} \frac{a^2}{V^2})(V - nb^2) = \frac{m}{M}RT$.

6.1.26. Чому рівний критичний об'єм

а) $\frac{a}{27b^2}$; б) $3b$; в) $\frac{8a}{27bR}$.

6.1.27. Яким виразом описується теплоємність твердих тіл при високих температурах?

а) $C_v = 3R$; б) $C_v = 3R \frac{(\frac{hn}{kT})^2 e^{\frac{hn}{kT}}}{(e^{\frac{hn}{kT}} - 1)^2}$; в) $C_v = 2R3$.

6.1.28. Вказати на правильні вирази для ентропії при ізотермічному процесі:

а) $dS = \frac{m}{M}R \ln \frac{p_1}{p_2}$; б) $dS = \frac{m}{M}C_v \ln \frac{T_2}{T_1}$; в) $dS = \frac{Im}{T}$.

6.1.29. Записати вираз для коефіцієнта холодильної машини:

а) $h' = \frac{Q_2}{A}$; б) $h' = \frac{Q_1}{A}$; в) $h' = \frac{A}{Q_1}$.

6.1.30. Зобразити графіки ізопроцесів для ідеального газу на діаграмах (TS).

6.1.31. Зобразити графіки ізопроцесів для ідеального газу на діаграмах (PS).

6.1.32. З яких процесів складається цикл Карно:

а) двох ізотерм і однієї адіабати; б) двох ізобар і двох ізохор; в) двох ізотерм і двох адіабат; г) двох ізотерм і двох ізобар;

6.1.33. Вказати на формулу для обчислення коефіцієнта дифузії:

а) $D = 1/3v\lambda$; б) $D = 1/3\rho v\lambda$; в) $D = 1/3\rho v\lambda c_v$;

6.1.34. Вказати на правильну формулу для коефіцієнта в'язкості:

а) $\eta = C_v\rho D$; б) $\eta = \rho D$; в) $\eta = C_v\lambda$.

6.1.35. Записати формулу Ньютона для явища в'язкості.

а) $dF = h \left| \frac{dV}{dz} \right| dS$; б) $dQ = c \left| \frac{dV}{dz} \right| dS dt$.

6.1.36. Як змінюється середня довжина вільного пробігу молекули (λ) з підвищенням температури:

а) не змінюється; б) зменшується; в) зростає.

6.1.37. Як залежить середня довжина вільного пробігу молекул газу від тиску:

а) прямопропорційна; б) оберненопропорційна; в) квадратично залежить від нього.

6.1.38. Залежність коефіцієнта дифузії від температури:

а) $D \sim \sqrt{T}$; б) $D \sim T^2$; в) $D \sim 1/T$.

6.1.39. Перенос якої фізичної характеристики описує рівняння теплопровідності:

а) кількості руху; б) енергії; в) маси.

6.1.40. Вказати одиниці виміру коефіцієнта внутрішнього тертя в газах в системі СІ:

а) Дж/м; б) кг/м·с; в) Дж/м·с·К.

6.1.41. Чому дорівнює універсальна газова стала?

а) $8.31 \cdot 10^3$ Дж/кмольК; б) $1.38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К; в) $2,7 \cdot 10^{19}$ см⁻³.

6.1.42. Записати формулу Фур'є для явища теплопровідності.

а) $dQ = c \left| \frac{dV}{dz} \right| dSdt$; б) $dm = D \left| \frac{dr}{dz} \right| dSdt$.

6.1.43. Яка із даних формул пов'язує молярну і питому теплоємність?

а) $C = Mc$; б) $c = MC$; в) $C = c/M$.

6.1.44. Вказати правильну формулу ККД теплової машини:

а) $h = \frac{Q_2 - Q_1}{Q_1}$; б) $h = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_2}$; в) $h = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}$.

6.1.45. Вказати приклад фазового переходу II-го роду.

а) Перетворення гелію I в гелій II; б) Випаровування рідин; в) Перехід металів у надпровідний стан.

6.1.46. Яка з наведених формул виражає енергію, що припадає на одну ступінь вільності поступального чи обертального руху?

а) $E = kT$; б) $E = \frac{3}{2} kT$; в) $E = \frac{1}{3} kT$; г) $E = \frac{1}{2} kT$.

6.1.47. Вираз для роботи при адіабатичному процесі:

а) $\delta A = -dU$; б) $\delta A = \frac{m}{M} R dT$; в) $\delta A = P dV$.

6.1.49. Вказати формулу зміни ентропії при плавленні.

а) $dS = cm dT$; б) $dS = \frac{l_m}{T}$; в) $dS = \int \frac{dQ}{T}$.

6.1.50. Записати рівняння Менделєєва-Клапейрона для деякої маси ідеального газу:

а) $PV = \frac{m}{M} RT$; б) $PV = nkT$; в) $PV = RT$.

6.1.51. Вказати на формулу для обчислення коефіцієнта дифузії:

а) $D = 1/3v\lambda$; б) $D = 1/3\rho v\lambda$; в) $D = 1/3\rho v\lambda C_V$

6.1.52. Яке з наведених співвідношень є законом Шарля:

а) $P_1 T_2 = T_1 P_2$; б) $V = V_0 \text{const} T$; в) $TV_{\gamma-1} = \text{const}$.

6.1.53. Яка з наведених формул є формула Клапейрона?

а) $PV = RT$; б) $PV = BT$; в) $PV = n RT$.

6.1.54. Яка з наведених формул виражає енергію, що припадає на одну ступінь вільності поступального чи обертального руху?

а) $E=kT$; б) $E=\frac{3}{2}kT$; в) $E=\frac{1}{3}kT$; г) $E=\frac{1}{2}kT$.

6.1.55. Вказати формулу, яка виражає енергію однієї молекули ідеального газу:

а) $U=kT$; б) $U=\frac{i}{2}kT$; в) $U=RT$; г) $U=\frac{i}{2}RT$.

6.1.56. Вказати на правильний вираз рівняння МКТ:

а) $P = nRT$; б) $P = nkT$; в) $P = \frac{m}{VM}RT$.

6.1.57. Яке з наведених співвідношень є законом розподілу Больцмана?

а) $n = n_0 \exp\left(-\frac{2mg}{kT}h\right)$; б) $n = n_0 \exp\left(-\frac{Mgh}{RT}\right)$; в) $n = n_0 \exp\left(-\frac{2mg}{kT}h\right)$.

6.1.58. Що станеться з максимумом кривої Максвела при підвищенні температури газу?

а) залишиться незмінним; б) зміститься вліво від осі ординат; в) зміститься вправо від осі.

6.1.59. Вказати чому рівна теплоємність газу при ізотермічному процесі

а) $C=0$; б) $C=Mc$; в) $C=\infty$.

6.1.60. Який вираз для роботи при ізобарному процесі:

а) $\delta A = PdV$; б) $\delta A = 0$; в) $\delta A = \frac{m}{M}RT \ln \frac{V_2}{V_1}$.

6.1.61. Чому рівна внутрішня енергія газу для ізобарного процесу ?

а) $dU=0$; б) $dU=C_p dT$; в) $dU=\frac{m}{M}C_v dT$.

6.1.61. Рівняння що зв'язує молярні теплоємності при сталих тиску і об'ємі та універсальну газову сталу

а) $C_v + C_p = R$; б) $C_v - C_p = R$; в) $C_p - C_v = R$.

6.1.62. Вказати вираз для молярної теплоємності при постійному тиску для одноатомного газу

а) $C_p = \frac{5}{2}R$; б) $C_p = \frac{7}{2}R$; в) $C_p = 4R$; г) $C_p = \frac{1}{2}R$.

6.1.63. Вказати формулу для обчислення молярної теплоємності при постійному тиску

а) $\frac{i}{2}R$; б) $\frac{i+2}{i}R$; в) $\frac{i+2}{2}R$; г) $\frac{i}{2}RT$.

6.1.64. Який процес є політропним?

а) $C = const$; б) $C = 0$; в) $C = \infty$.

6.1.65. Вираз для роботи при адіабатичному процесі:

а) $\delta A = -dU$; б) $\delta A = \frac{m}{M}RdT$; в) $\delta A = PdV$.

6.1.66. Вказати правильний вираз для молярної теплоємності при постійному об'ємі двоатомного газу:

а) $C_V = \frac{3}{2}R$; б) $C_V = \frac{5}{2}R$; в) $C_V = \frac{7}{2}R$.

6.1.67. Як залежить висота підняття рідини в капілярі від коефіцієнта поверхневого натягу

а) обернено пропорційно; б) прямо пропорційно; в) не залежить.

6.1.68. Вказати формулу додаткового тиску Лапласа для випадку циліндричного поверхневого шару рідини

а) $\frac{8S}{R}$; б) $\frac{S}{R}$; в) $\frac{2T}{3R}$.

6.1.69. Чому рівний критичний тиск ?

а) $\frac{8a}{27bR}$; б) $\frac{a}{27b^2}$; в) $3b$.

6.1.70. Якою формулою описується зміна ентропії при випаровуванні:

а) $dS = \frac{rm}{T}$; б) $dS = \frac{Im}{T}$; в) $dS = \int \frac{dQ}{dT}$.

6.1.71. Вказати на формулу для обчислення коефіцієнта теплопровідності:

а) $\chi = 1/3\rho v \lambda C_V$; б) $\chi = 1/3v \lambda$; в) $\chi = 1/3\rho v \lambda$.

6.1.72. Вказати формулу Фіка для дифузії.

а) $dm = D \left| \frac{dr}{dz} \right| dsdt$; б) $dQ = c \left| \frac{dr}{dz} \right| dsdt$.

6.1.73. Вказати рівняння ізотермічного процесу:

а) $PV = const$; б) $P/T = const$; в) $V/T = const$.

6.1.74. Яка залежність середнього числа зіткнень молекул газу (z) від його густини:

а) логарифмічна; б) обернено пропорційна; в) квадратична;
г) прямо пропорційна.

6.1.75. Залежність коефіцієнта дифузії від тиску:

а) $D \sim 1/p$; б) $D \sim p$; в) $D \sim \sqrt{p}$.

6.1.76. Яка з наведених співвідношень належить до залежності між довжиною вільного пробігу і тиском ідеального газу?

а) $\lambda_1 p_2 = \lambda_2 p_1$; б) $\lambda_1 / p_1 = \lambda_2 / p_2$; в) $\lambda_1 \sqrt{p_1} = \lambda_2 \sqrt{p_2}$; г) $\lambda_1 p_1 = \lambda_2 p_2$.

6.1.77. Перенос якої фізичної характеристики описує рівняння дифузії:

а) кількість руху; б) енергії; в) маси.

6.1.78. Вказати одиниці виміру коефіцієнта теплопровідності в системі СІ:

а) Вт/К·м; б) Па·с; в) кг/м·с.

6.1.79. Вказати на правильний вираз для ентропії при ізохорному процесі:

а) $dS = \frac{m}{M} R \ln \frac{V_1}{V_2}$; б) $dS = \frac{m}{M} C_V \ln \frac{P_2}{P_1}$; в) $dS = \frac{m}{M} R \ln \frac{V_2}{V_1}$.

6.1.80. Одиниці вимірювання зміни ентропії:

а) $[dS] = \text{Дж/мольК}$; б) $[dS] = \text{Дж/К}$; в) $[dS] = \text{Дж/кг}$.

6.1.81. Зобразити графіки ізопроцесів для ідеального газу на діаграмах (VS).

6.1.82. Яка залежність між ентропією та термодинамічною імовірністю:

а) прямо пропорційна; б) квадратична; в) обернено пропорційна; г) логарифмічна.

6.1.83. Одиниці вимірювання питомої теплоємності:

а) Дж/К; б) Дж/мольК; в) кг/мольК.

6.1.84. Теплоємність при сталому об'ємі для реального газу:

а) $\frac{i+2}{2}R$; б) $\frac{i}{2}R$; в) $3R$.

6.1.85. Яке із співвідношень визначає адіабатичний процес?

а) $dT=0$; б) $dQ=0$; в) $dU=0$; г) $dP=0$.

6.1.86. Вказати формулу зміни ентропії при плавленні.

а) $dS=c_m dT$; б) $dS = \frac{I_m}{T}$; в) $dS = \int \frac{dQ}{dT}$.

6.1.87. Чому рівна величина об'єму нестискуваного простору в розрахунку на одну молекулу реального газу?

а) $4V_0$; б) $2V_0$; в) $4V_0N$.

6.1.88. Який фізичний зміст має площа, що обмежена кривою Максвела, віссю абсцис і двома ординатами, що відповідають значенням швидкості u і $u + du$: а) ця площа чисельно рівна числу частинок, що мають швидкість у вказаному інтервалі; б) ця площа чисельно рівна числу частинок, що мають середню квадратичну швидкість; в) ця площа чисельно рівна числу частинок, що мають середню арифметичну швидкість.

6.1.89. Чому дорівнює робота при ізобарному процесі?

а) $\delta A = p dV$; б) $\delta A = \nu R dT$; в) $dA = \frac{m}{M} R \ln \frac{V_2}{V_1}$.

6.1.90. Вказати приклад фазового переходу II-го роду:

а) плавлення твердих тіл; б) випаровування рідин; в) перетворення гелію I в гелій II.

6.1.91. Який вираз є рівнянням адіабати?

а) $PV_n = const$; б) $TV_{n-1} = const$; в) $TV_{\gamma-1} = const$.

6.1.92. Зв'язок ентропії та ймовірностей стану:

а) $S = k \ln W$; б) $S = R \ln V$; в) $R \ln U$.

6.1.93. З яких процесів складається цикл Карно:

а) двох ізотерм і однієї адіабати; б) двох ізобар і двох ізохор; в) двох ізотерм і двох адіабат; г) двох ізотерм і двох ізобар.

VII. Взірці питань

на колоквіуми та білетів іспиту з розділу "Молекулярна фізика і термодинаміка" загального курсу фізики

7.1. Методичні поради

З розділу пропонується проведення двох колоквіумів з теорії. В одне завдання колоквіумів, як правило, включено шість питань: перші три відображають важливий теоретичний матеріал; четверте – задача; п'яте і шосте – якісні питання.

Важливим є те, що колоквіуми проводяться за циклічною методикою: наступний включає найбільш важливі питання попереднього. Це дає дві позитивні можливості для студента: повторити ще раз пройдений матеріал і підвищити свої бали (оцінку).

7.2. Взірець завдання колоквіуму №1

1. Рівняння Клапейрона-Менделєєва. Універсальна газова стала.
2. Сила Архімеда.
3. В'язкість газу.
4. Задача. Знайти молярну масу повітря, вважаючи, що вона складається з масою із однієї частинки кисню ($M_2=0,032$ кг·моль⁻¹) і трьох частин азоту ($M_2=0,028$ кг·моль⁻¹), ($m_1:m_2=1:3$).
5. У якому співвідношенні знаходяться між собою характерні швидкості частинок газу в стані його термодинамічної рівноваги?
6. Які границі застосування теореми про рівномірний розподіл кінетичної енергії за ступенями вільності?

7.3. Взірець завдання колоквіуму №2

1. Сила Архімеда.
2. Політропічний процес. Рівняння політропи.
3. Розрахунок к.к.д. через ентропію.
4. Задача. Обчислити внутрішню енергію кисню при $T=973$ К, маса якого $m=12\cdot 10^{-3}$ кг, при умові, що одна третина його молекул дисоціювала на атоми ($\alpha=1/3$). Молярна маса кисню $M_2=0,016$ кг·моль⁻¹, $R=8,31$ Дж·К⁻¹·моль⁻¹.
5. У яких випадках внутрішня енергія системи постійна?
6. Коли різниця між C_p і C_v прямує до нескінченності.

7.4. Взірець екзаменаційного білету

Білет №1

1. Дифузія газу.
2. Ізотерми Ван-дер-Ваальса. Метастабільні стани. Закон відповідних станів.
3. Умова рівноваги на межі рідина-тверде тіло.

4. Задача. Знаючи, що внутрішнє тертя водню при нормальних умовах ($p=1,01 \cdot 10^5$ Па, $T=273$ К) $\eta = 8,6 \cdot 10^{-6}$ Па·с, обчислити середню довжину вільного пробігу його молекул та їх ефективний діаметр. Молярна маса водню $M_2 = 0,002$ кг⁻¹моль, $R=8,31$ Дж·К⁻¹·моль⁻¹, $V_M=22,4 \cdot 10^{-3}$ м³ моль⁻¹ – молярний об'єм газу при нормальних умовах, $n_0=2,7 \cdot 10^{25}$ м⁻³ – число молекул в 1 м³ (концентрація) газу при нормальних умовах.
5. Чи змінюється енергія ідеального газу при його адіабатному розширенні у порожнечу?
6. Яка принципова схема процесу зрідження газу, використовуючи дроселювання газу?

VIII. Означення деяких найважливіших похідних одиниць молекулярної фізики і термодинаміки у системі СІ

<i>Сила</i>	1 Ньютон (Н) – сила, яка надає масі 1 кг прискорення, що дорівнює 1 м/сек^2 .
<i>Робота</i>	1 Джоуль (Дж) – робота сили 1 Н на шляху в 1 м , пройденому тілом під дією цієї сили в напрямі, що збігається з напрямом сили.
<i>Потужність</i>	$1 \text{ Ват (Вт)} = 1 \text{ Дж/сек}$ – потужність, при якій за 1 сек виконується робота, що дорівнює 1 Дж .
<i>Тиск</i>	1 Н/м^2 – рівномірно розподілений тиск, при якому на 1 м^2 припадає сила в 1 Н .
<i>Густина</i>	1 кг/м^3 – густина речовини, в 1 м^3 якої міститься маса, що дорівнює 1 кг .
<i>Кількість теплоти</i>	1 Джоуль (Дж) – кількість теплоти, еквівалентна роботі в 1 Дж .
<i>Питома теплоємність</i>	$1 \text{ Дж/кг}\cdot\text{град}$ – питома теплоємність речовини, для нагрівання 1 кг якої на 1 град потрібна кількість теплоти, що дорівнює 1 Дж .
<i>Молярна теплоємність</i>	$1 \text{ Дж/кмоль}\cdot\text{град}$. – молярна теплоємність речовини, для нагрівання 1 кмоль якої на 1 град потрібна кількість теплоти, що дорівнює 1 Дж . Примітка. 1 кмоль - кількість речовини, маса якої виражена в кілограмах, дорівнює молекулярній вазі цієї речовини.
<i>В'язкість динамічна</i>	$1 \text{ Н}\cdot\text{сек/м}^2$ - в'язкість рідини, в якій при градієнті швидкості в 1 (м/сек)/м між шарами площею в 1 м^2 діє сила, що дорівнює 1 Н .
<i>Коефіцієнт теплопровідності</i>	$1 \text{ Вт/м}\cdot\text{град} = 1 \text{ Дж/м}\cdot\text{сек}\cdot\text{град}$ – коефіцієнт теплопровідності, в якому через 1 м^2 перерізу при градієнті температури 1 град/м за 1 сек проходить кількість теплоти 1 Дж .
<i>Коефіцієнт дифузії</i>	$1 \text{ м}^2/\text{сек}$ – коефіцієнт дифузії речовини, в якій через площадку в 1 м^2 при градієнті густини $1 \text{ (кг/м}^3)/\text{м}$ за 1 сек переноситься маса речовини, що дорівнює 1 кг .
<i>Коефіцієнт поверхневого натягу</i>	$1 \text{ Дж/м}^2 = 1 \text{ Н/м}$ – коефіцієнт поверхневого натягу рідини, на 1 м довжини контуру поверхні якої діє сила в 1 Н .

Одиниця тиску в системі СІ незручна для практичного використання через її мализну. Тому рекомендується застосовувати одиницю *бар*, що дорівнює 10^5 н/м . За своїм розміром ця одиниця близька до 1 атм (див. таблицю). Бар – єдина позасистемна одиниця, яка рекомендована для використання.

ІХ.

Гравітаційна стала	$6,67 \cdot 10^{-11} \text{ м}^3/(\text{кг} \cdot \text{с}^2)$
Швидкість світла у вакуумі	$2,9979 \cdot 10^8 \text{ м/с}$
Магнітна стала	$1,2571 \cdot 10^{-6} \text{ Гн/м}$
Електрична стала	$8,8542 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$
Стала Планка	$6,6262 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$
Маса спокою електрона	$9,1095 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$
Маса спокою протона	$1,6726 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$
Маса спокою нейтрона	$1,6750 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$
Заряд електрона	$1,6022 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$
Стала Авогадро	$6,0220 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$
Атомна одиниця маси	$1,6606 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$
Молярна газова стала	$8,314 \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К})$
Стала Больцмана	$1,3807 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/К}$
Радіус першої борівської орбіти	$0,5291 \cdot 10^{-10} \text{ м}$
Віддаль Земля-Сонце	$1,4960 \cdot 10^{11} \text{ м}$
Маса Сонця	$1,984 \cdot 10^{30} \text{ кг}$
Радіус Сонця	$6,9569 \cdot 10^8 \text{ м}$
Маса Землі	$5,976 \cdot 10^{24} \text{ кг}$
Середній радіус Землі	6371032 м
Середня віддаль Земля - Місяць	384400 км
Коефіцієнт поверхневого натягу води	$0,073 \text{ Н/м}$
Густина ртуті	13596 кг/м^3
Питомий опір ніхрому	$100 \cdot 10^8 \text{ Ом} \cdot \text{м}$
Питомий опір нікеліну	$400 \text{ нОм} \cdot \text{м}$
Питомий опір міді	$17,2 \text{ нОм} \cdot \text{м}$
Стала Рідберга	$2,07 \cdot 10^{16} \text{ с}^{-1}$
Число Фарадея	$9,65 \cdot 10^4 \text{ Кл/моль}$

Х. Зміст

Вступ	1
I. Програма розділу "Молекулярна фізика і термодинаміка" з курсу загальної фізики	2
II. Питання до колоквіумів з розділу "Молекулярна фізика і термодинаміка" з загального курсу фізики	6
2.1. Колоквіум №1	6
2.2. Колоквіум №2	6
III. Питання для самоконтролю знань з розділу "Молекулярна фізика і термодинаміка" загального курсу фізики	9
3.1. Вступні питання. Перший закон термодинаміки	9
3.2. Другий закон термодинаміки	11
3.3. Різні фазові стани речовини і додатки термодинаміки до їх дослідження	12
3.4. Молекулярно-кінетична природа теплових явищ	15
IV. Завдання синтезів з курсу загальної фізики, розділу "Молекулярна фізика і термодинаміка"	18
4.1. Збірник задач	18
4.2. Методично-навчальні посібники	18
4.3. Задачі для першого синтезу	18
4.4. Задачі для другого синтезу	22
4.5. Задачі для третього синтезу	25
V. Фізичний лабораторний експеримент з розділу "Молекулярна фізика і термодинаміка" загального курсу фізики	28
5.1. Список лабораторних робіт	28
5.2. Фізичні лабораторні практикуми	28
VI. Тестові завдання з розділу "Молекулярна фізика і термодинаміка" загального курсу фізики	30
6.1. Приклади тестових завдань	30
VII. Взірці питань на колоквіуми та білетів іспиту з розділу "Молекулярна фізика і термодинаміка" загального курсу фізики	37
7.1. Методичні поради	37
7.2. Взірець завдання колоквіуму №1	37
7.3. Взірець завдання колоквіуму №2	37
7.4. Взірець екзаменаційного білету	37
VIII. Означення деяких найважливіших похідних одиниць молекулярної фізики і термодинаміки у системі СІ	39
IX. Основні фізичні константи	40
Зміст	41

