

Каленик В.І., Каленик М.В.

*Лекційно-практичні заняття
з методики викладання окремих
тем шкільного курсу фізики*

Частина 2

МОЛЕКУЛЯРНА ФІЗИКА

Суми
СумДПУ ім. А.С.Макаренка
2006р.

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ПЕДАГОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ім. А.С.МАКАРЕНКА**

КАЛЕНИК В.І., КАЛЕНИК М.В.

**Лекційно-практичні заняття
з методики викладання окремих
тем шкільного курсу фізики**

**Частина 1
Молекулярна фізика**

**Навчальний посібник
для студентів фізико-математичних факультетів
педагогічних університетів**

Суми
СумДПУ ім. А.С.Макаренка
2006

УДК
ББК
К 17

Друкується згідно з рішенням ученої ради Сумського
державного педагогічного університету ім. А.С. Макаренка

Рецензенти:

Жук Ю.О. – заступник директора з наукової роботи інституту засобів навчання Академії педагогічних наук України, кандидат педагогічних наук, доцент.

Павленко А.І. – завідувач кафедри дидактики природничо-математичних дисциплін Запорізького обласного інституту післядипломної педагогічної освіти, доктор педагогічних наук, професор.

К 17 В.І.Каленик, М.В.Каленик.

Лекційно-практичні заняття з методики викладання окремих тем шкільного курсу фізики Ч.2.
Молекулярна фізика /Навчальний посібник. – Суми: СумДПУ ім. А.С. Макаренка, 2005. – с., іл.

ISBN

У посібнику містяться конспекти лекцій з методики викладання окремих тем шкільного курсу фізики й інструкції до практичних занять, у які входять завдання до самостійної роботи студентів з підготовки до цих занять і їх плани.

Для студентів фізико-математичних факультетів педагогічних університетів, викладачів методики навчання фізики.

УДК
ББК

ISBN

© Каленик В.І., Каленик М.В., 2006

© СумДПУ, 2006

Передмова

Складовою змісту методики навчання фізики – вузівського навчального предмета – є питання вивчення окремих тем шкільного курсу фізики (спеціальна методика навчання фізики).

Водночас, аналіз змісту посібників з методики навчання фізики, призначених для вчителів або студентів, указує на те, що найбільш проблемними є зміст й організація навчальних занять зі студентами, присвячених саме цій групі питань. Цьому є багато причин: періодичні зміни змісту й структури шкільного курсу фізики – його програм і відповідних навчальних посібників; різноманітність пропонуванних систем уроків – способів вивчення питань програми з фізики, що є результатом творчого підходу їх авторів до організації навчального процесу; розбіжності у визначенні змісту окремих питань даної програми та інші. Проблемність цієї частини змісту методики навчання фізики в даний час зумовлена й невизначеністю багатьох питань, пов'язаних із впровадженням у загальноосвітніх навчальних закладах України профільного навчання й переходом на 12-річну загальну освіту.

У навчальних посібниках для студентів фізмат факультетів педагогічних університетів, у яких розкрито зміст лекцій і практичних занять зі спеціальної методики навчання фізики, пропонується один з варіантів подолання вказаних труднощів, який ґрунтується на досвіді роботи їх авторів.

Автори посібників даної групи виходили з наступного:

1. Істотна ознака методики навчання фізики – навчального предмета – це його спрямованість на безпосередню підготовку майбутніх учителів фізики до їх фахової професійної діяльності. Це означає, що будь-яка складова змісту даного навчального предмета повинна розглядатися в контексті організації навчального процесу з фізики в загальноосвітніх навчальних закладах і формування в студентів відповідних умінь.

2. У методиці навчання фізики – навчальному предметі – відсутня "автономізація" окремих складових її змісту. Так, питання вивчення компонентів змісту шкільного курсу фізики (одиниць цього змісту – явищ, понять, законів тощо) не тільки органічно пов'язані із загальною методикою навчання фізики, а й уміщені в зміст відповідних лекцій. У загальній методиці навчання фізики розкривається структура й зміст спільної діяльності вчителя й учнів під час вивчення будь-якого компонента змісту шкільного курсу фізики. Водночас, у ній визначені узагальнені плани цієї діяльності під час вивчення конкретних груп таких компонентів – стратегії в їх вивченні [10].

Провідною ідеєю в організації лабораторних занять зі шкільного фізичного експерименту є усвідомлення того, що кожний демонстраційний або лабораторний дослід, кожна фронтальна лабораторна робота мають сенс тільки в контексті діяльності з вивчення конкретного навчального матеріалу. Тому, під час лабораторних занять, у робочих групах проведення будь-якого дослідження є елементом ділової гри – один зі студентів виконує роль вчителя, а інший – учня. У кінці кож-

ного заняття, по-черзі кожна робоча група підготовлює й проводить із всією підгрупою студентів весь урок або його фрагмент з використанням фізичних дослідів [8, 9].

3. Студент повинен мати можливість скористатися описом будь-якого компонента змісту шкільного курсу фізики, поданого у вигляді повної системи тверджень про його істотні ознаки. Це стає підґрунтям пошуку способу введення істотних ознак [11].

Таким чином, під час лекцій із загальної методики навчання фізики, лабораторних занять з навчального фізичного експерименту студенти ознайомлюються з організацією сучасного навчального процесу, стратегіями у вивченні окремих груп компонентів змісту шкільного курсу фізики, набувають певний досвід підготовки й проведення навчальних занять – застосування стратегій вивчення окремих груп компонентів до введення вказаних систем істотних ознак.

Тому, під час лекцій зі спеціальної методики навчання фізики, доцільно узагальнити зміст компонентів змісту шкільного курсу фізики, поданого в навчальній та методичній літературі.

При такому підході зміст лекцій з методики вивчення окремих тем шкільного курсу фізики не залежить від тих впливів, які пов'язані з розвитком змісту й структури навчального предмета й суб'єктивними поглядами на предмет і процес навчання авторів навчальних і методичних посібників.

На цих лекціях доцільно розглянути логічні зв'язки між питаннями окремих тем шкільного курсу фізики, які впливають на послідовність їх вивчення.

Уміння організації спільної діяльності вчителя й учнів на всіх етапах циклу навчального процесу [10] продовжує формуватися і на практичних заняттях з методики вивчення окремих тем шкільного курсу фізики. На відміну від лабораторних занять [8, 9], на яких більше уваги приділяється методиці і техніці шкільного фізичного експерименту, на цих практичних заняттях, поряд з накопиченням у студентів досвіду в організації навчального процесу, необхідно підготувати майбутніх учителів до організації навчальної діяльності учнів, пов'язаної з розв'язуванням практичних задач.

Навчальна, пізнавальна, практична задачі – назви типів задач, що є результатом їх класифікації за ознакою – їх роллю в структурі циклу навчального процесу. Одна й та сама задача може відігравати роль навчальної, пізнавальної або практичної задачі. Практичні задачі, які традиційно називають фізичними, – це задачі, для розв'язку яких в учнів є необхідні теоретичні знання й треба зможти ними скористатися в конкретній практичній ситуації.

Формування вмінь розв'язувати практичні задачі певного типу розпочинається з вивчення відповідного компоненту змісту шкільного курсу фізики, на що вказує особливість структури і змісту циклу навчального процесу – у ньому, одночасно з вивченням нового матеріалу, формуванням пізнавальних умінь здійснюється пошук способу розв'язку навчальної задачі з наступною його демонстрацією і застосуванням у різних практичних ситуаціях.

Навчальна задача орієнтована на загальний спосіб діяльності з розв'язування практичних задач, у яких застосовується компонент змісту курсу фізики, що вивчається. Це вказує на необхідність опису тієї системи дій, яка є спі-

льною для задач цієї групи.

Отже, практичні заняття з методики вивчення окремих тем шкільного курсу фізики мають на меті:

- а) продовжити формування в студентів умінь вибору дидактичного матеріалу для введення істотних ознак понять;
- б) продовжити формування в студентів умінь організації спільної діяльності вчителя й учнів у циклах навчального процесу;
- в) досягти усвідомлення студентами взаємозв'язку між введенням понять й формуванням в учнів способів діяльності з їх застосування до конкретних ситуацій;
- г) ознайомити студентів з методичними рекомендаціями, зокрема, з алгоритмічними приписами до розв'язування окремих типів практичних задач;
- д) закріпити знання студентами змісту головних понять шкільного курсу фізики.

Дані практичні заняття поділяються на дві групи:

- 1) заняття, головна мета яких – визначення логіки вивчення певного компонента змісту шкільного курсу фізики;
- 2) заняття, головна мета яких – ознайомлення студентів з методами розв'язування груп практичних задач.

Головною особливістю організації цих занять є приділення великої уваги самостійній роботі студентів, вважаючи, що вони мають певні знання з організації навчального процесу і розв'язування практичних задач, отримавши їх на попередніх заняттях з методики навчання фізики і під час вивчення фізики в школі та загальної фізики у ВНЗ.

В організації практичних занять, на відміну від традиційної, самостійна робота студентів з теми заняття, передує їх проведенню.

Це стає можливим при наявності даної групи навчальних посібників, у яких у першій їх частині викладено зміст лекцій, у другій – містяться інструкції до практичних занять.

Предметом діяльності на практичному занятті першої групи є методика вивчення вибраних понять з певної теми, з якими пов'язані типи практичних задач, уміння розв'язувати які доцільно сформувані в учнів.

У завданні до самостійної роботи студентів з підготовки до заняття вказано:

1. Пригадати зміст понять:
2. Запропонувати способи введення істотних ознак, того поняття, логіка вивчення якого розглядається, розв'язуючи такі пізнавальні задачі:

До понять, зміст яких повинні знати студенти, належать поняття, що входять у дану тему курсу фізики, зокрема, і те поняття, процес вивчення якого буде розглядатися.

Отже, повторюючи зміст останнього поняття, студенти усвідомлюють мету спільної діяльності вчителя й учнів у відповідному циклі навчального процесу.

Пізнавальні задачі формулюються у вигляді запитань, відповіді на які і є твердженнями про істотні ознаки, компоненту змісту курсу фізики, що вивчається. Для того щоб студенти змогли запропонувати способи діяльності з введення даних істотних ознак, їм пропонується ознайомитися з відповідними параграфами

підручника з фізики. Викладач, виходячи з наявних у даному університеті методичних посібників, рекомендує додаткову літературу, яка сприятиме виконанню поставлених перед студентами завдань.

У другій частині інструкції до практичного заняття описується план діяльності викладача і студентів.

До другої групи відноситься заняття, головна мета якого – ознайомлення студентів з методами розв’язування практичних задач.

У завданні до самостійної роботи студентів з підготовки до заняття вказано:

1. Повторити зміст понять:
2. Ознайомитися з методичними рекомендаціями щодо розв’язування практичних задач з теми:
3. Ознайомитися з методами розв’язування окремих типів задач:
4. Самостійно розв’язати задачі:

У другому завданні, як правило, міститься алгоритмічний припис до розв’язування задач з даної теми і приклади, які допоможуть виконати завдання із самостійного розв’язування задач під час підготовки до даного заняття і до контрольної роботи.

Після проведення практичних занять з декількох тем шкільного курсу фізики студенти виконують контрольну роботу. У цю контрольну роботу входять задачі, перелік яких наведено перед описом практичних занять даного циклу під рубрикою "Студент повинен уміти розв’язувати наступні задачі:". У цей перелік входять задачі основних типів, зокрема, підвищеної складності.

У третьому завданні наведені приклади розв’язування задач основних типів.

У четвертому завданні вказані задачі, які студенти повинні вміти розв’язувати й продемонструвати цей розв’язок у відповідності з методичними рекомендаціями.

У другій частині інструкції вказаний план проведення заняття:

1. Повторення понять:
2. Колективний аналіз вибраних задач, що входили до завдань з підготовки до заняття.
3. Розв’язування задач з теми.

На третьому етапі заняття використовуються різні форми організації розв’язування задач: колективна, індивідуальна, змішана, коментовані вправи на місцях.

Кількість практичних занять зі спеціальної методики навчання фізики залежить від навчального часу, що виділено навчальним планом у даному університеті, але не менша тієї їх кількості, яка є в цьому навчальному посібнику.

Відсутність науково обґрунтованих загальнодержавних рекомендацій щодо мінімуму навчальних годин, які треба виділити на викладання фахового навчального предмета – методики навчання фізики, може негативно вплинути на результати відповідної навчальної діяльності студентів.

У даному навчальному посібнику наведено кількість навчальних годин, відведених на лекції й практичні заняття зі спеціальної методики навчання фізики в СДПУ ім. А.С.Макаренка. Цей час визначений навчальним планом з підготовки бакалаврів за спеціальністю "фізика і математика".

Розділ курсу фізики	Семестр	Лекції	Практичні заняття
Механіка	6	12	30
Молекулярна фізика	7	10	20
Електродинаміка	7	14	20
Оптика. Атом.	8	12	20

Указана кількість навчальних годин обмежує можливості фахової підготовки вчителів фізики. Але, і за таких умов, використовуючи запропоновані зміст й організацію навчальних занять зі спеціальної методики навчання фізики, ефективність таких занять достатньо велика.

ЛЕКЦІЇ

Основні поняття, закони молекулярної фізики
у шкільному курсі фізики

МОЛЕКУЛЯРНА ФІЗИКА

Предмет вивчення молекулярної фізики. Молекулярно-кінетична теорія. Статистичний метод. Термодинаміка. Термодинамічний метод. Питання молекулярної фізики в шкільному курсі фізики.

1. У молекулярній фізиці вивчаються властивості тіл, які перебувають у різних агрегатних станах, на основі їх мікроскопічної (молекулярної) будови. Іншими словами, у молекулярній фізиці на основі знання про внутрішню будову тіл здійснюється мікрофізичний аналіз процесів і явищ.

Коло питань, які охоплює молекулярна фізика, досить широке. У ній розглядаються: будова речовини і її зміни під впливом зовнішніх факторів (тиску, температури, електричного й магнітного полів); явища переносу (дифузія, теплопровідність, внутрішнє тертя); фазова рівновага й процеси фазових перетворень (кристалізація, плавлення, випаровування й конденсація тощо); критичний стан речовини; поверхневі явища на межі розділу різних фаз.

Інтенсивний розвиток молекулярної фізики зумовив виокремлення від неї самостійних розділів – статистичної фізики, фізичної кінетики, фізики твердого тіла, фізичної хімії, молекулярної біології. Водночас, при всій різноманітності об'єктів і методів досліджень, у зазначених розділах зберігається головна ідея молекулярної фізики – опис макрофізичних властивостей речовини на основі її мікрофізичної картини і будови.

2. Молекулярно-кінетичною теорією називається фізична теорія, яка ґрунтується на уявленнях про те, що усі речовини складаються з молекул і атомів, які перебувають у безперервному, безладному русі, між якими діють сили притягання і відштовхування.

Молекулярно-кінетична теорія має на меті пояснення властивостей тіл, які безпосередньо спостерігаються на досліді, розглядаючи їх як сумарний результат дії великої кількості молекул. При цьому дана теорія користується *статистичним методом* досліджень.

Поведінку системи, яка складається з порівняно невеликої кількості частинок, можна описати чисто механічно. Інакше кажучи, якщо в деякий момент часу відомі координати і швидкості всіх частинок системи й відомі закони їх взаємодії, то, розв'язуючи рівняння класичної механіки, можна визначити нові координати і швидкості в будь-який момент часу і тим самим повністю визначити стан системи. Знання початкових координат і швидкостей (початкових умов у класичній механіці) пов'язане з наступним: із заданого початкового механічного стану матеріальної точки (координати і швидкості) та зовнішнього на неї впливу (сили) однозначно впливає будь-який наступний її стан.

Такий спосіб визначення стану системи, яка складається з величезної кількості частинок, отже, з'ясування й пояснення властивостей макроскопічних тіл, виходячи з їх внутрішньої будови, не можливий. Незважаючи на те, що рух кожної частинки такої системи можна описати за допомогою законів класичної механіки, її поведінка у кожний момент часу випадкова і залежить від багатьох причин, які неможливо врахувати. Водночас, саме велике число частинок системи зумовлює появу нових, статистичних закономірностей у поведінці макроскопіч-

них тіл. Ця поведінка в широких межах не залежить від попередніх початкових умов – від точних значень початкових координат і швидкостей частинок. У даному випадку виявляються інші – статистичні закономірності.

Для теорії, яка описує статистичні закономірності, зокрема, для молекулярно-кінетичної теорії, характерно обчислення не точних значень фізичних величин, які описують поведінку окремих частинок, а їх середніх значень.

Наприклад, молекули перебувають у деякому уявно виділеному в часі достатньо великому – макроскопічному об'ємі. Число таких молекул із часом буде змінюватися через їх хаотичний рух. У рівноважному стані зміна числа молекул в об'ємі має характер безладних коливань відносно деякого середнього значення. При величезній кількості частинок в об'ємі ці коливання будуть малими порівняно із середнім числом частинок, так що для характеристики макроскопічного стану достатньо знати саме це середнє значення.

Уведення середніх значень величин у молекулярній фізиці обумовлене не тільки тим, що не можна стежити за рухом кожної окремої молекули через їх велику кількість та хаотичність руху й взаємодій між ними, а й тим, що сукупність величезної кількості молекул має нові властивості, які не притаманні кожній молекулі окремо.

Середні значення тих фізичних величин, що характеризують поведінку окремої молекули, яка належить до макроскопічного тіла (системи), мають якісний і кількісний зв'язок з фізичними величинами, які характеризують макроскопічне тіло як ціле. Наприклад, характеристика макроскопічного тіла – температура газу – пов'язана із середнім значенням кінетичної енергії його молекул.

Для визначення середніх значень величин використовується теорія ймовірностей.

У сучасній фізиці статистичний метод використовується у формі класичної й квантової статистики.

Класична статистика виникла у 19 столітті і була пов'язана з вивченням будови речовини. У наш час відомо, що поведінка всіх мікрооб'єктів, зокрема, елементарних частинок, підлягає статистичним законам. Причому в квантовій фізиці, на відміну від класичної статистики, у якій статистичні закони існують внаслідок масовості й хаотичності руху частинок, ці статистичні закони існують у зв'язку із самою природою квантових об'єктів (неможливістю одночасно точно визначити координати і швидкості частинок).

3. Поряд із статистичним методом для вивчення фізичних явищ використовується *термодинамічний метод*.

Термодинаміка вивчає умови перетворення енергії з одного виду в інший і характеризує ці перетворення з кількісного боку.

Створення термодинаміки як науки було пов'язано з розглядом теплових процесів, зокрема, з питаннями зміни внутрішньої енергії під час виконання роботи і з питаннями теорії теплових машин. У наш час термодинаміка вивчає перетворення енергії не тільки в теплових процесах, а й в електричних, магнітних, хімічних та інших.

В основі термодинаміки лежать два експериментально встановлених закони, які часто називають першим і другим началами термодинаміки, а також принцип

недосяжності абсолютного нуля (третє начало термодинаміки).

В основі термодинамічного метода лежать поняття про термодинамічну систему, стан термодинамічної системи, термодинамічні параметри стану й рівноважний стан.

Сукупність тіл, що розглядаються, які обмінюються енергією між собою і із зовнішніми тілами, називається *термодинамічною системою*.

Стан системи визначається сукупністю значень всіх фізичних величин, які характеризують її фізичні властивості і називаються *термодинамічними параметрами*.

Термодинамічними параметрами стану є температура, об'єм, тиск, густина та інші.

Число параметрів, які характеризують стан системи, залежить від властивостей системи і від умов, у яких вона перебуває. Так, для опису ізольованої системи "ідеальний газ" достатньо трьох параметрів – температури, тиску, об'єму.

Стан термодинамічної системи називається *стаціонарним*, якщо значення всіх термодинамічних параметрів системи не змінюється з часом.

Стаціонарний стан системи називається *рівноважним*, якщо його незмінність у часі не зумовлена протіканням будь-яких процесів у зовнішніх відносно системи тілах.

Термодинаміка вивчає в основному рівноважні стани.

Для кожного тіла термодинамічні параметри взаємопов'язані. Тому виявляється, що рівноважний стан термодинамічної системи однозначно визначається наданням значень обмеженого числа її термодинамічних параметрів, які називаються параметрами стану.

Найважливіші параметри стану хімічно однорідної системи: густина ρ , або пов'язаний з нею об'єм V , який займає одиниця речовини (питомий об'єм); тиск p ; температура T . Між цими трьома параметрами стану існує зв'язок, який називається рівняннями стану: $f(p, V, T) = 0$.

Знаючи рівняння стану речовини й використовуючи закони термодинаміки, можна вивчити властивості речовин у різних агрегатних станах.

Між статистичним і термодинамічним методами існують глибокі зв'язки. Сучасна фізика розвивається на базі такого поєднання обох методів. Зазначені зв'язки полягають, зокрема, в тому, що однією з основних задач статистичної фізики є обчислення термодинамічних параметрів.

4. Питання молекулярної фізики розглядаються на уроках фізики як в основній, так і в старшій школах. Під час їх вивчення враховується взаємодоповнення обох методів вивчення фізичних явищ – статистичного й термодинамічного.

Сучасний навчальний процес у загальноосвітніх навчальних закладах спрямований, перш за все, на розвиток пізнавальних можливостей учнів. Розвиваюче значення шкільного курсу фізики, зокрема, його розділу – молекулярна фізика, визначається використанням теоретичних знань для пояснення фізичних явищ – учні звикають знаходити причини явищ, пояснювати їх, а це потребує більшої розумової діяльності, ніж просте запам'ятання фактів.

З цієї точки зору набувають великого самостійного значення питання, що

вивчаються на самому початку вивчення фізики в 7 класі, які пов'язані з будовою речовини. На цьому етапі вивчення фізики необхідно переконати учнів у тому, що речовини складаються з молекул і атомів, які перебувають у безперервному хаотичному русі і взаємодіють між собою силами притягання й відштовхування. Незалежно від того, чи є у програмі 7 класу питання про особливості теплового руху молекул у газах, рідинах, твердих тілах, його треба обов'язково розглянути, адже ці відомості потрібні для пояснення фізичних явищ в основній школі. З точки зору уявлень про молекулярну будову речовин пояснюються: загальні властивості газів, рідин, твердих тіл; тиск газу; закон Паскаля; атмосферний тиск. Теплові явища аналізуються з точки зору уявлень про будову речовини й перетворень енергії. Це одна з головних ліній розвитку змісту курсу фізики основної школи. У цьому полягає підсилення ролі фізичних теорій у шкільному курсі фізики.

У старшій школі – курсі фізики 10 класу – питання молекулярної фізики розподілені в двох розділах: 1. Властивості газів, рідин, твердих тіл. 2. Основи термодинаміки.

У відповідності з програмою дванадцятирічної школи вивчення даного навчального матеріалу розпочинається з основних положень молекулярно-кінетичної теорії і їх дослідного обґрунтування. Це пояснюється тим, що глибоке розуміння термодинаміки можливе лише після вивчення механізму, що лежить в основі того чи іншого процесу. Крім того, вивчення основних положень молекулярно-кінетичної теорії відразу ж дозволяє встановити зв'язок матеріалу, що розглядається, з тим, що вже відомий учням з основної школи. Питання молекулярно-кінетичної теорії вивчаються в старшій школі більш глибоко, особлива увага приділяється дослідним її обґрунтуванням, вивчаються характеристики молекул, методи їх теоретичного й експериментального визначення, при поясненні взаємодій між молекулами проводиться аналіз графіку сил взаємодії.

Потім, у цій темі вивчають основне рівняння молекулярно-кінетичної теорії газу, поняття температури, рівняння Менделєєва-Клапейрона й ізопроцеси. Знання, що отримують учні при вивченні цього матеріалу, використовуються для пояснення властивостей пари, рідин і твердих тіл.

У темі "Основи термодинаміки" повторюють і поглиблюють поняття, що були вивчені учнями в основній школі: внутрішня енергія, способи зміни внутрішньої енергії. Потім вивчають перший закон термодинаміки, дають поняття про другий закон термодинаміки, розглядається принцип дії теплових машин.

ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ МОЛЕКУЛЯРНО-КІНЕТИЧНОЇ ТЕОРІЇ

Молекула і її характеристики. Кількість речовини. Рух молекул. Взаємодія молекул. Основні положення молекулярно-кінетичної теорії в змісті шкільного курсу фізики.

Основні положення молекулярно-кінетичної теорії:

- Будь-яка речовина складається з молекул чи атомів.
- Молекули й атоми перебувають у безперервному хаотичному (тепловому) русі.
- Між молекулами діють сили притягання й відштовхування.

1. *Молекула* – найменша частинка речовини, яка зберігає її основні хімічні властивості і складається з атомів, з'єднаних між собою хімічними зв'язками.

Число атомів у молекулі складає від двох до сотень і тисяч. Молекули інертних газів часто називають одноатомними молекулами. У дійсності, строго кажучи, вони не є молекулами.

У фізиці уявлення про молекулу виникло в 18 столітті й отримало широке визнання в 19 столітті в зв'язку з розвитком термодинаміки і теорії газів та рідин.

Атоми в молекулі безперервно здійснюють коливальний рух. При певних умовах, наприклад, у газовій фазі, молекули можуть здійснювати поступальні й обертальні рухи.

Молекули, як і атоми, не мають чітких меж.

Стійкість молекули в середовищі залежить від її взаємодії з іншими атомами, а також від температури, тиску та інших факторів. У газоподібному стані речовина, як правило, складається з молекул (крім інертних газів і парів металів). При достатньо високих температурах молекули всіх газів розпадаються на атоми. У конденсованих системах молекули можуть зберігатися. Вода у всіх агрегатних станах складається з молекул. Із молекул складається більшість рідин і молекулярні кристали. У металах й інших атомних кристалах, а також їх розплавах, молекули, як правило, не існують, тому що кожний атом у них взаємодіє з усіма сусідами приблизно однаково.

Атоми в молекулі пов'язані між собою, у певній послідовності й певним чином розміщені в речовині. Найбільш загальні характеристики молекули – молярна маса, склад і структурна формула, яка вказує на послідовність хімічних зв'язків.

Маси молекул і атомів виміряні досить точно. Наприклад, маса молекули кисню дорівнює $53,5 \cdot 10^{-27}$ кг. Як видно, маси молекул і атомів виражаються дуже малими числами. На практиці такими числами не зручно користуватися. Тому за одиниці вимірювання мас атомів і молекул прийнято *атомну одиницю маси* (а.о.м.).

Атомну одиницю маси вибрали так, щоб маса атома найбільш поширеного ізотопу карбону була точно в 12 разів більшою за цю одиницю. Отже, атомна одиниця маси дорівнює 1/12 маси атома карбону.

Масу атома, виражену в атомних одиницях маси, називають відносною атомною масою A .

Відносною атомною масою речовини A називають відношення маси атома m_0 деякої речовини до 1/12 маси атома карбону m_c :
$$A_r = \frac{m_0}{\frac{1}{12} m_c}.$$

Відносна атомна маса речовини показує, у скільки разів маса атома даного елемента m_0 більша за 1/12 маси атома карбона m_c .

Відносні атомні маси елементів указані в періодичній системі Д.І.Менделєєва. Відносні атомні маси, наведені в цій таблиці, дещо відрізняються від цілих чисел, наприклад, в оксигені 15,9994, а не 16. Це пов'язано з тим, що атоми одного й того самого хімічного елемента можуть мати різні маси. Для практичних розрахунків наведені в періодичній системі відносні атомні маси заокруглюються до найближчого цілого.

Якщо речовина складається не з атомів, а з молекул, то її *відносна молекулярна маса* M_r дорівнює сумі відносних атомних мас атомів, які утворюють молекулу.

Масу будь-якого атома чи молекули у кілограмах обчислюють за формулою: $m_0 = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ кг} \cdot M_r$, де m_0 – маса молекули (в кг), M_r – відносна молекулярна маса цієї речовини.

2. Розміри молекул дуже малі, тому їх кількість у будь-якому макроскопічному тілі величезна. Наприклад, у краплі води масою 1г міститься приблизно $3,3 \cdot 10^{22}$ молекул. Тому зручніше вказувати не абсолютну кількість атомів чи молекул у тілі, а *відносну*. Відносна кількість атомів чи молекул в тілі називається кількістю речовини.

Кількістю речовини ν називають відношення числа молекул N у даному тілі до числа N_A атомів в 0,012кг вуглецю.

Вимірюється кількість речовини в СІ в молях.

Моль – кількість речовини, яка містить стільки ж молекул, скільки міститься атомів у 0,012кг вуглецю.

У Міжнародній системі одиниць СІ моль, поряд з метром, секундою, кілограмом та іншими, відноситься до основних одиниць вимірювання.

N_A – *число Авогадро*, тобто число молекул в 1 молі будь-якої речовини.

$$N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}.$$

Маса 1 моля речовини називається *молярною масою* M . $M = 10^{-3} \cdot M_r$ (кг).

Кількість речовини можна обчислити за формулами: $\nu = \frac{N}{N_A} = \frac{m}{M}$, де N – число молекул у тілі, m – маса тіла, M – молярна маса даної речовини.

3. Безпосереднім експериментальним підтвердженням молекулярного руху і його залежності від температури є броунівський рух, дифузія та інші явища.

У 1827р. англійський ботанік Р.Броун спостерігав у мікроскоп безладний, безперервний рух дрібних частинок (спор папороті, що завислі у воді), який не затухає із часом. Цей рух назвали *броунівським рухом*, а дрібні частинки – броунівськими частинками.

Інтенсивність броунівського руху зростає з підвищенням температури і зменшенні в'язкості рідини, а також зі зменшенням розміру частинок.

Дві частинки рухаються в тій самій рідині однаково за умови, що їх форма й розміри однакові.

Броунівський рух вічний і не потребує ніяких зовнішніх "двигунів".

Броунівський рух зумовлений поштовхами, яких зазнають завислі частинки, з боку оточуючих молекул. Оскільки поштовхи молекул об частинку ніколи не врівноважуються, то завислі частинки рухаються по складним ломаним лініям.

За допомогою мікроскопа спостерігають не рух молекул рідини або газу, а результат їх дії – рух броунівської частинки.

Ще одним дослідним підтвердженням молекулярно-кінетичної теорії є *явище дифузії*.

Дифузія полягає в самодовільному взаємному проникненні й перемішуванні частинок двох газів, рідин і, навіть, твердих тіл, що стикаються.

У хімічно чистих газах дифузія виникає внаслідок неоднакової густини в різних об'ємах газу. У суміші газів причиною дифузії є різниця в концентрації окремих газів у різних частинах об'єму суміші. Якщо це явище не ускладнюється змінами температури по об'єму газу, то воно полягає у перенесенні маси газу з місць із більшою концентрацією даного газу в місця з меншою концентрацією.

Характер теплового руху частинок (молекул, атомів) у речовинах, які перебувають у різних агрегатних станах, різний.

У *газах* середня відстань між молекулами (для одноатомних газів – між атомами) досить велика порівняно з розмірами молекул. Сили взаємодії між молекулами на таких відстанях практично не діють. Тепловий рух молекул газу являє собою безперервний, хаотичний рух. Кожна молекула газу рухається прямолінійно й змінює напрям свого руху під час зіткнень з іншою молекулою або стінкою посудини.

Молекули в *рідинах* розміщені набагато ближче одна до одної, ніж у газі: густина рідини приблизно в тисячу разів більша за густину її пари. Внаслідок цього помітними стають сили молекулярної взаємодії. Проміжки між молекулами рідини невеликі (менші за розміри молекул), тому, рухаючись хаотично, молекула більшу частину часу перебуває нібито в клітці, здійснюючи в її середині безладні коливання. Але, як тільки з'явиться можливість переміститися із цієї клітки, вона попаде в сусідню клітку. Під час таких переходів з клітки в клітку на молекули діють сили притягання з боку сусідніх молекул. Тому траєкторії таких переходів будуть кривими лініями. Отже, рух молекули рідини складається з неупорядкованих коливань у середині клітки й випадково орієнтованих переходів з однієї клітки в іншу.

У *твердих тілах* молекули (атоми) взаємодіють одні з одними сильніше, ніж у рідині. Вони розміщені більш компактно. Внаслідок цього всі частинки практично постійно залишаються на своїх місцях, тільки здійснюють хаотичні коливання навколо деяких центрів.

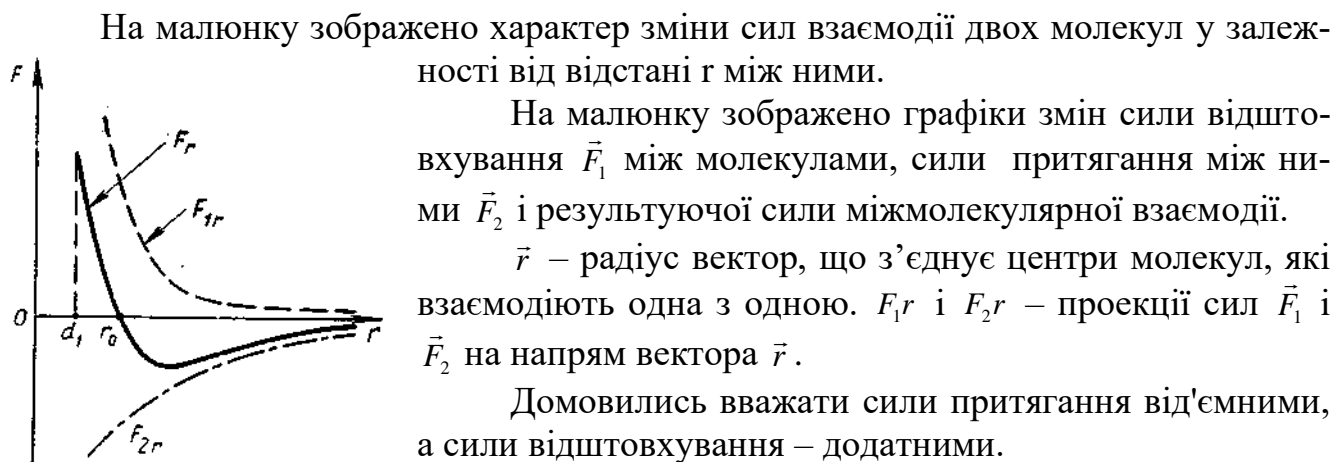
Уявлення про швидкості руху молекул газу й розподіл їх за швидкостями, дослідні вимірювання цих швидкостей учні отримують під час вивчення досліду О.Штерна.

4. Прості факти вказують на те, що між молекулами речовини в будь-якому агрегатному стані діють сили взаємного *притягання й відштовхування*. Про наявність між молекулами взаємного притягання говорить те, що тверді тіла чинять опір зміні їх розмірів. Про наявність між молекулами сил взаємного відштовхування говорить те, що гази при великих густинах мало стискаються, а рідини й тверді тіла чинять опір стисненню.

Істотно, що сили притягання й відштовхування діють *одночасно*. У протилежному випадку тіла не були б стійкими і частинки, що їх утворюють, або розлетілися у різні сторони, або "злипалися".

Сили молекулярної взаємодії залежать від форм і структур молекул. Тому немає єдиного закону для їх розрахунку.

Для того щоб з'ясувати загальний характер залежності цих сил від відстані між молекулами, треба звернутися до моделі – взаємодії двох молекул, що мають форму куль.



На малюнку зображено характер зміни сил взаємодії двох молекул у залежності від відстані r між ними.

На малюнку зображено графіки змін сили відштовхування \vec{F}_1 між молекулами, сили притягання між ними \vec{F}_2 і результуючої сили міжмолекулярної взаємодії.

\vec{r} – радіус вектор, що з'єднує центри молекул, які взаємодіють одна з одною. F_{1r} і F_{2r} – проекції сил \vec{F}_1 і \vec{F}_2 на напрям вектора \vec{r} .

Домовились вважати сили притягання від'ємними, а сили відштовхування – додатними.

Особливості вказаних сил:

1. Сили відштовхування значно швидше змінюються зі зміною r , ніж сили притягання – говорять, що сила відштовхування більш "короткодійча", ніж сила притягання.

2. На дуже малих відстанях сили відштовхування настільки швидко збільшуються зі зменшенням r , що можна говорити про деяку відстань d , ближче якої центри двох молекул не зможуть "підійти" один до одного. Цю відстань d й приймають за діаметр молекули (цей діаметр не можна розуміти чисто геометрично).

3. При $r = r_0$ сили \vec{F}_1 і \vec{F}_2 взаємно врівноважуються і їх рівнодійна дорівнює нулю. Якщо $r > r_0$, то переважають сили взаємного притягання. При $r < r_0$ переважають сили відштовхування. r_0 – це та рівноважна відстань між молекулами, на якій вони перебували б за відсутності теплового руху, який порушує цю рівновагу. Стану стійкої рівноваги частинок, що взаємодіють, відповідає рівність нулю рівнодійної сил взаємодії й найменше значення їх взаємної потенціальної енергії.

Сили міжмолекулярної взаємодії не можуть бути гравітаційними, адже гравітаційні сили є тільки силами притягання.

Електрична нейтральність атомів і молекул не означає, що між ними неможливі електромагнітні взаємодії. Відомо, що електричний диполь, який складається з двох різнойменних зарядів, створює електричне поле і два диполя взаємодіють між собою. У залежності від розміщення диполів у просторі сила F може бути й силою відштовхування, і силою притягання.

У будь-якій молекулі є однакова кількість додатних і від'ємних зарядів й існує міжмолекулярна взаємодія. Сили цієї міжмолекулярної взаємодії мають електромагнітну природу.

5. У шкільному курсі фізики з основними положеннями молекулярно-кінетичної теорії ознайомлюються в 7 класі, у темі "Будова речовини".

Учні повинні засвоїти такі твердження:

1) усі тіла складаються із частинок, між якими є проміжки; під час зміни розмірів даного тіла змінюються проміжки між частинками, а самі частинки не змінюються;

2) найменша частинка речовини, яка має властивості даної речовини, називається молекулою; молекули складаються з атомів; атоми складаються з електронів, протонів, нейтронів;

3) частинки, з яких складаються тіла, перебувають у неперервному, хаотичному русі; чим швидше рухаються частинки, тим вище температура тіла;

4) між частинками, з яких складаються тіла, діють сили притягання й відштовхування.

У 10 класі доцільно вибрати логіку вивчення відповідного матеріалу, яка визначається системою навчальних задач.

Спочатку пригадується, що учні знають про будову речовини з 7 класу, доповнюють ці знання новими прикладами й формулюють їх як основні положення молекулярно-кінетичної теорії.

Після цього вирішуються наступні навчальні задачі:

1. Які дослідні обґрунтування основних положень МКТ?

2. В основних положеннях МКТ стверджується, що речовини складаються з молекул і атомів. Як визначити масу молекул і атомів та їх кількість у макроскопічному тілі?

3. В основних положеннях МКТ стверджується, що частинки, з яких складаються тіла, перебувають у хаотичному русі. Як розподілені молекули тіла за швидкостями?

4. В основних положеннях МКТ стверджується, що між молекулами діють сили притягання й відштовхування. Які особливості цих сил?

ТЕМПЕРАТУРА

Термодинамічний і молекулярно-кінетичний зміст поняття температури. Температура – інтенсивний параметр. Температурні шкали. Абсолютний нуль. Поняття температури в шкільному курсі фізики.

1. Поняття температури – фундаментальне поняття не тільки фізики, а й природознавства в цілому. Воно складне і яскраво відображає багатогранність фізичних понять.

У повсякденному житті поняття температури асоціюється зі ступенем нагрятості тіл: тіло більш нагріте – тіло має більш високу температуру. Отже, поняття температури пов'язують з відчуттям "гаряче", "тепле", "холодне". Такий критерій суб'єктивний – наші відчуття залежать не тільки від стану середовища, а й стану нашого організму. Так, якщо в одну й ту саму кімнату увійдуть дві людини, одна з гарячої ванни, а друга з морозу, то першому буде холодно, а другому – тепло.

У фізиці існують два підходи до розуміння фізичного змісту температури – термодинамічний і молекулярно-кінетичний.

З точки зору *термодинаміки* температура являє собою фізичну величину, яка характеризує стан термодинамічної рівноваги макроскопічної системи і напрям теплообміну:

1) якщо два тіла перебувають у тепловій рівновазі з одним й тим самим третім тілом, то вони перебувають у тепловій рівновазі одне з одним;

2) існує така фізична величина, значення якої у всіх точках рівноважної системи однакове; цю величину, що характеризує теплову рівновагу, називають температурою;

3) при рівновазі можливий один єдиний розподіл енергії системи по її частинам; при збільшенні енергії системи збільшується енергія її частин; теплообмін завжди відбувається таким чином, що енергія у формі тепла передається тільки від нагрітих тіл до холодних.

Отже, якщо ізольована система перебуває у тепловій рівновазі, то з часом перехід енергії (теплопередача) від більш нагрітих частин системи до менш нагрітих приведе до вирівнювання температури у всієї системи (перший постулат або нульове начало термодинаміки).

Статистичний підхід поглиблює поняття температури. У рівноважних умовах температура, з точки зору молекулярно-кінетичних уявлень, міра середньої кінетичної енергії частинок. Так для ідеального газу зв'язок між температурою і середньою кінетичною енергією молекул має вигляд: $\frac{m_0 \bar{v}^2}{2} = \frac{3}{2} kT$, де m_0 – маса молекули, k – стала Больцмана (показує, на скільки змінюється кінетична енергія однієї молекули при зміні температури на один градус), T – абсолютна температура.

Температура має зміст тільки для систем, які складаються з величезної кількості частинок, тобто температура є статистичною величиною.

Визначаючи температуру як величину пропорційну середній кінетичній енергії молекул, слід мати на увазі, що таке визначення температури обмежене рамками класичної теорії; у квантовій статистиці таке визначення не є правильним, ця залежність більш складна.

Виходячи зі статистичного характеру як поняття температури, так і тиску, поняття температури має сенс лише для колективу молекул. Не можна говорити про температуру кількох молекул. Поняття температури втрачає сенс щодо газу в космічному просторі.

2. Макроскопічні параметри поділяються на зовнішні і внутрішні. Величини, які визначаються положенням тіл, що не входять до складу вибраної системи, називаються *зовнішніми* параметрами. Наприклад, об'єм посудини, що визначається фіксованим положенням стінок посудини, є зовнішнім параметром по відношенню до газу, який міститься в даній посудині. Зовнішніми параметрами є функції координат зовнішніх тіл.

Внутрішні параметри – величини, що визначаються сукупним рухом і розподілом частинок, які утворюють дану систему (густина, тиск, енергія та інші).

Внутрішні параметри системи поділяються на інтенсивні та екстенсивні. Параметри термодинамічної системи, які не залежать від маси або числа частинок у системі, називаються *інтенсивними*. *Екстенсивні* термодинамічні параметри – це параметри, які пропорційні масі або числу частинок даної термодинамічної системи. Їхнє значення дорівнює сумі значень таких самих параметрів окремих частинок системи (адитивні величини). До таких параметрів належать об'єм, енергія та інші. Наприклад, об'єм у даних умовах змінюється пропорційно масі: об'єм 100кг речовини в 100 разів більший від об'єму 1кг цієї речовини.

Температура виражає стан внутрішнього руху рівноважної системи і має одне значення для всіх частин складної рівноважної системи, незалежно від кількості частинок у них. Тому температура є *інтенсивним* параметром. Вона не має

властивості адитивності, тому її не можна порівнювати з еталоном, тобто її не можна виміряти безпосередньо. Про зміну температури дізнаються за зміною інших властивостей тіл (об'єму, тиску, електричного опору тощо).

3. Будь-який метод вимірювання температури пов'язаний з визначенням *температурної шкали*. При побудові температурної шкали приписують значення температури t_1 і t_2 двом фіксованим температурним точкам x_1 і x_2 , наприклад, точки танення льоду і кипіння води. Різниця температур $(t_2 - t_1)$ називають температурним інтервалом температурної шкали.

Вважаючи довільно, що зв'язок між вибраною термометричною величиною x і температурою t лінійний, і, приймаючи для зручності $t_1 = 0$, отримуємо для будь-якого t за встановленою таким чином емпіричною або умовною температурною шкалою:

$$t = t_2 \frac{x - x_1}{x_2 - x_1}.$$

Можлива необмежена кількість емпіричних температурних шкал, які відрізняються за термометричною властивістю, довільним вибором фіксованих (реперних) точок, довільним поділом температурного інтервалу на число градусів.

Цих недоліків позбавлена *абсолютна термодинамічна шкала*, яка є основною температурною шкалою у фізиці. Вона побудована на основі другого закону термодинаміки. Цю шкалу називають також *шкалою Кельвіна*.

Якщо у циклі Карно тіло, яке здійснює цикл, поглинає кількість теплоти Q_1 при температурі T_1 і виділяє кількість теплоти Q_2 при температурі T_2 , то $\frac{T_1}{T_2} = \frac{Q_1}{Q_2}$

($\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}$). Це відношення не залежить від властивостей робочого тіла і

дозволяє за доступними для вимірювання величинами Q_1 і Q_2 визначити термодинамічну температуру. В СІ умовилися шкалу температур визначати за однією реперною точкою, за яку взято потрібну точку води – температуру, при якій лід, вода і їх насичена пара перебувають у рівновазі між собою. Вибір цієї точки зумовлено тим, що є лише одне-єдине значення тиску і температури, за яких вода одночасно може існувати в трьох агрегатних станах. Температуру потрібної точки води прийнято вважати такою, що дорівнює 273,16К. Кельвін (К) – це 1/273,16 температурного інтервалу між потрібною точкою води й точкою абсолютного нуля температур, яка не є реперною, а є температурою на 273,16К нижчою від температури потрібної точки води. За цією шкалою 1К = 1°C.

Експериментальні утруднення вимірювання температур за абсолютною термодинамічною шкалою привели до необхідності створення *Міжнародної практичної температурної шкали* (1968р.). Вона ґрунтується на одинадцяти добре вимірюваних температурних точках, яким приписуються конкретні температури (первинні реперні точки). Прикладами таких точок є наступні: точка кипіння води 373,15К (0,01°C), точка замерзання води 273,15К (0°C), точка кипіння ртуті 692,81К (356,66°C) та інші. Між первинними реперними точками температурна шкала встановлюється за допомогою інтерполяційних формул, які виражають співвідношення між температурою і показами стандартних термометрів, які градуйовані на цих реперних точках. Вся область температур, яка охоплюється Між-

народною практичною температурною шкалою, поділяється на ряд інтервалів, у кожному з яких пропонуються свої методи відтворення температур і свої інтерполяційні формули.

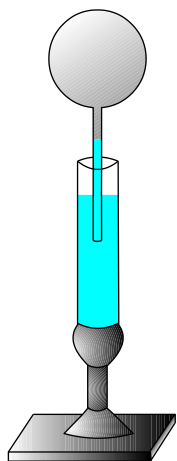
4. Нульовий рівень температури за абсолютною шкалою називається абсолютним нулем. Йому відповідає температура $-273,16^{\circ}\text{C}$ за Міжнародною практичною температурною шкалою.

Абсолютний нуль – це найнижча температура. Ні в якому експерименті неможливо отримати температуру, яка дорівнює абсолютному нулю. Тим більше неможливо отримати температуру меншу за абсолютний нуль.

При температурах, близьких до абсолютного нуля, середня кінетична енергія молекул уже не пропорційна абсолютній температурі, а виражається значно більш складною функцією. Тому принципово неправильне твердження, що нібито при абсолютному нулі зникає молекулярний рух. Як доведено в наш час, молекулярний рух, навіть при абсолютному нулі, не припиняється – молекули здійснюють так звані нульові коливання. Нульовим коливанням відповідає нульова енергія – мінімальна енергія, якою можуть володіти молекули даної речовини і яка не може бути забрана від тіла ні при будь-якому охолодженні, навіть до абсолютного нуля.

До відома.

1. Стародавні лікарі були першими, яким потрібна була порівняльна шкала теплоти людського тіла, адже було встановлено, що стан організму пов'язаний із цією теплотою й ліки її змінюють. Ліки охолоджували або зігрівали людське тіло, і ступінь цієї дії визначалася градусами. Лікар Гален, який жив у 2 столітті класифікував ліки за "градусами": градус тепла, градус холоду, градус вологості, градус сухості. Градусів було по чотири і кожний з них поділявся на три частини. Від стародавніх лікарів залишилася дванадцятиградусна шкала теплової дії. Ліки змішувалися між собою і суміші мали різні градуси. Слово "температура" походить від латинського temperature, що означає "суміш".



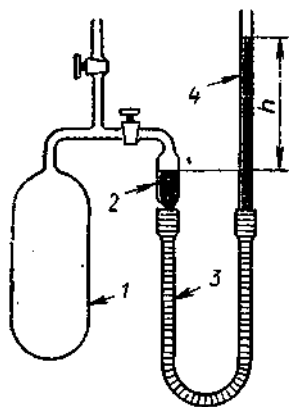
Галілей, мабуть, вперше намагався ввести кількісну міру тепла при нагріванні твердих тіл тертям і близько 1597р. створив перший термометр, виготовлений зі скляної кулі, наповненої повітрям, запертого стовпчиком води. Виміряти температуру цим термометром скільки-небудь точно було неможливо. Висота стовпчика залежала крім температури, ще й від атмосферного тиску.

Сучасний термометр був описаний уперше в 1724р. Даніелем Фаренгейтом, складувом з Голландії. За одну опорну точку була обрана сама низька температура зими 1709р. у Голландії, яка імітувалася сумішшю льоду, кухонної солі й нашатирю. Другою опорною точкою була температура суміші льоду й води. Відстань між цими точками ділилася на 32 частини, причому кожний відрізок ділився п'ять разів пополам. За третю опорну точку приймалася нормальна температура людського тіла – 96° . Пізніше Фаренгейт увів четверту опорну точку – точку кипіння води, прийнявши її рівною 212° . Шкала Фаренгейта і в наш час використовується у США й Англії.

У сучасній науці й техніці найбільш поширеною стала шкала, яка була вве-

дена шведським фізиком Цельсієм у 1724р. Її опорними (реперними) точками є температури замерзання й кипіння води, які дорівнюють відповідно 0°C і 100°C . Цікаво, що спочатку Цельсій прийняв за нуль точку кипіння води, а за 100° – точку замерзання води.

2. Ртутні і спиртові термометри взагалі не можуть використовуватися для точних вимірювань. Вони основані на припущенні, що розширення ртуті і спирту пропорційне вимірюваній температурі – припущення, яке має наближений характер. Для перевірки цього припущення необхідно скористатися газовим термометром.



Будова газового термометра зображена на малюнку. Балон 1 заповнюється звичайним воднем. Трубка 2 з розширенням і гумовий шланг 3 з'єднують балон із ртутним манометром 4. Балон з воднем приводять у контакт з тілом, температуру якого треба виміряти. Піднімаючи, або опускаючи манометричну трубку, доводять рівень ртуті в розширенні 2 до заданої позначки. Це дозволяє фіксувати тиск газу за висотою h ртутного стовпчика при заданому об'ємі газу.

Для порівняння температури двох тіл необхідно привести газовий термометр у контакт з кожним з них, причому кожний раз треба добиватися встановлення теплової рівноваги між тілами і газовим термометром. Для кожного тіла треба визначати тиск у газовому термометрі за висотою стовпчика ртуті. Позначивши через T_1 і T_2 абсолютні температури тіл, а через p_1 і p_2 – тиски в газовому термометрі, що відповідають станам теплової рівноваги, тоді на підставі рівняння стану ідеального газу при незмінному об'ємі, можна написати: $p_1 V_\mu = RT_1$, $p_2 V_\mu = RT_2$. Звідси $\frac{T_1}{T_2} = \frac{p_1}{p_2}$. Таким чином, порівняння абсолютних температур двох тіл зводиться до вимірювання тиску газу.

У газовому термометрі використовують водень, тому що він більш наближений до ідеального газу.

Температуру вимірюють відносно деякої точки відліку, наприклад, температури потрійної точки води.

Користуватися газовим термометром незручно, але він є еталоном для градування термометрів, які використовуються на практиці.

Для вимірювання термодинамічної температури використовуються, крім газового, акустичний термометр, термометр з насиченою парою, магнітний термометр, пірометр.

5. Поняття "температура" формується в процесі вивчення елементів молекулярної фізики як в основній, так і старшій школі.

Поняттям "температура" учні користувалися до вивчення фізики в школі. Вони знайомі з різними термометрами й уміють за їх допомогою вимірювати температуру.

Слово "температура" у повсякденному житті асоціюється зі ступенем нагрятості тіла.

Під час вивчення фізики в школі, враховуючи вказані знання й уміння учнів, формується поняття "температура", що відповідає його тлумаченню у фізиці-

науці.

Уже в першій темі "Будова речовини" учні узнають про те, що швидкість руху частинок, з яких складаються тіла, пов'язана з температурою: чим більше швидкість руху молекул, тим вище температура тіла.

Цей факт встановлюється шляхом порівняння того, в якій посудині з водою, на дні якої є речовина, що під час свого розчинення забарвлює воду, швидше відбувається дифузія – забарвлення води. Посудини з водою розміщують в теплому (кімнаті) і холодному (холодильнику) місцях. Учні вже знають, що явище дифузії вказує на існування теплового руху молекул і чим швидше відбувається дифузія, тим швидше рухаються молекули. Поступове забарвлення води в посудині, на дні якої є барвник, являє собою явище дифузії. Такий дослід може бути проведений учнями вдома.

У 8-му класі в темі "Теплові явища" учні ознайомлюються з будовою, принципом дії рідинних термометрів і правилами користування ними. Важливо виділити й підкреслити наступні відомості: температура характеризує теплову рівновагу системи тіл; температура вказує на напрям теплообміну; у всіх частинах тіла, у тілах, між якими є теплообмін, за умови, що вони перебувають у стані теплової рівноваги, температура однакова.

Ці відомості стають підґрунтям для введення статистичного смислу температури в 10-му класі. Сутність введення такого смислу температури полягає в наступному.

Якщо привести два гази з різними значеннями середньої кінетичної енергії молекул до зіткнення, то через певний час середні кінетичні енергії їх молекул стануть однаковими, оскільки, стикаючись одна з одною, молекули газів обмінюються енергією. При цьому відбувається передача енергії від газу з більшою середньою кінетичною енергією молекул до газу з меншим значенням цієї величини. Після вирівнювання середніх кінетичних енергій молекул настає тепла рівновага, при якій припиняється передача енергії від одного газу до другого, хоча зіткнення молекул продовжується.

Так само поведуться тіла з різною температурою. Під час їх дотику енергія передається теж від одного з них до другого доти, поки не зрівняються їх температури, тобто поки не встановиться між тілами тепла рівновага.

Таким чином, середня кінетична енергія поступального руху молекул змінюється так само, як і температура. Тому, можна вважати, що температура може слугувати мірою середньої кінетичної енергії газу, що підтверджується дослідом.

Уводиться формула $\bar{E}_k = \frac{3}{2}kT$ і поняття про термодинамічну шкалу температури.

Такий підхід прийнято в підручнику з фізики для 10 класу, автором якого є С.У.Гончаренко [].

ІДЕАЛЬНИЙ ГАЗ

Моделювання у фізиці. Два визначення поняття "ідеальний газ" – термодинамічне й молекулярно-кінетичне. Вибір визначення ідеального газу в шкільному курсі фізики.

1. У молекулярній фізиці, як взагалі у фізиці, широко використовується моделювання об'єктів пізнання. Моделювання слід розглядати як метод посереднього одержання інформації про об'єкт пізнання за допомогою дослідження деякого замітника об'єкту, що знаходиться з ним у певній відповідності.

Моделі поділяються на два типи: речові моделі у формі реально функціонуючої системи й уявні – у формі деяких ідеальних структур.

За допомогою моделей можна передати той чи інший фізичний об'єкт або фізичну систему, те або інше явище тільки наближено, частково. Модельні уявлення можуть дати відомості про особливості того чи іншого явища, дають змогу зробити висновки не тільки якісного, а й кількісного характеру. Фізичні уявлення, що лежать в основі побудови моделі, впливають із певних знань про властивості об'єкту, процесу з обмеженої кількості експериментальних і теоретичних даних. Тому при побудові моделей головна увага зосереджується на відтворенні лише окремих рис поведінки об'єкта моделювання. У процесі поглиблення наших знань, із включенням в аналіз при моделюванні все більшої кількості властивостей об'єкту-оригіналу, кількість можливих моделей зменшується, але підвищується їх адекватність.

Єдиним критерієм, який може дати відповідь при виборі моделі, є її відповідність дійсності. Тільки практика відбирає для фізичної теорії ті моделі, які зберігають наукове значення і виявляються потрібними для подальшого розвитку науки.

2. Моделлю є ідеальний газ.

Одним з агрегатних станів речовини є газоподібний (слово "газ" походить від слова "хаос" – цей термін вперше запропонував голландський фізик Ван Гельмонт у 1640р.). Молекулярна фізика дає вичерпні відомості про будову газового стану речовини в даному випадку. Також основні закономірності, які мають місце в реальному газі, вивчаються на його моделі – ідеальному газі.

Сконструювати модель газу – це означає зробити абстрактно певні припущення про властивості молекул газу та про особливості їхнього руху.

Існують два визначення поняття "ідеальний газ": термодинамічне й молекулярно-кінетичне.

У *термодинаміці* під *ідеальним газом* розуміють газ, у якому при ізотермічному процесі при незмінній масі тиск обернено пропорційний його об'єму (або газ, який у точності підлягає газовим законам).

У *молекулярно-кінетичній теорії ідеальний газ* має такі властивості:

1) у будь-якому макроскопічному об'ємі газу міститься надто велике число (порядку 10^{19}) молекул;

2) розміри молекул дуже малі порівняно з відстанями між ними;

3) молекули перебувають у безперервному хаотичному русі; рух кожної молекули підлягає законам механіки;

4) внаслідок великих відстаней між молекулами (у десятки разів більших за радіус молекулярного притягання) сили молекулярної взаємодії виявляються тільки при співударах – від зіткнення до зіткнення молекули рухаються рівномірно, їх траєкторії руху на цих ділянках – прямі лінії;

5) зіткнення молекул одна з одною й зі стінками посудини вважаються ідеально пружними (що відбуваються без витрат енергії поступального руху).

Молекули ідеального газу можна розглядати як пружні кульки мізерно малих розмірів.

Ця модель "працює" за умови, що газ перебуває в рівноважному стані. Її не можна застосовувати при високих тисках і низьких температурах. Якщо газ стиснути, то збільшується його густина й зменшуються відстані між молекулами. Тому тиск газу буде залежати не тільки від ударів молекул, а й від їх взаємодії. З експерименту відомо, що при тиску газу, рівному приблизно 10^8 Па спостерігаються істотні відхилення від закону Бойля-Маріотта. Таке ж саме спостерігається при зниженні температури.

Ближче всього ідеальному газу відповідає одноатомний газ, який перебуває під тиском, близьким до атмосферного, і температурі від 200°C до декількох тисяч градусів.

До відома.

Поширеною ознакою ідеального газу, особливо в підручниках для вищої школи, є наступна: молекули розглядаються як "матеріальні точки", тобто їх розміри можна не враховувати. Одночасно, інші автори вважають, що молекули ідеального газу треба розглядати як мізерно малі пружні кульки.

Якщо під "матеріальною точкою" розуміють геометричну точку, наділену певними механічними властивостями, зокрема, масою, то уявлення про молекули ідеального газу, як "матеріальні точки", не доцільно використовувати в шкільному курсі фізики.

Уже було зазначено, що модель "ідеальний газ" використовується в умовах теплової рівноваги.

Матеріальні точки, за своєю сутністю, не можуть зштовхуватися одні з одними, а це означає, що швидкості молекул ідеального газу не будуть змінюватися із часом. Це суперечить тому, що в газі, вміщеному у посуд, надто швидко встановлюється стан теплової рівноваги, у якому тиск і температура в усіх частинах об'єму посудини однакові. Отже, за відсутністю зіткнень між молекулами такий стан установитися не може. Крім того, як показує дослід і теорія, у газі існує певний перерозподіл молекул за швидкостями, який характерний для стану теплової рівноваги. Він не міг би встановитися без зіткнень молекул. Тому, у визначенні ідеального газу треба підкреслити, що в такому газі ми нехтуємо силами притягання між молекулами й вважаємо, що молекули мають кінцеві, хоча й малі розміри.

Отже, врахування розмірів молекул як мізерно малих, але пружних кульок, дозволяє пояснити учням встановлення теплової його рівноваги. Водночас, розгляд молекул, як мізерно малих пружних кульок, використовується під час виводу основного рівняння МКТ ідеального газу, розглядаючи пружний удар молекул о стінки посудини.

Водночас, розгляд молекул ідеального газу у вигляді матеріальних точок має підстави. Зіткнення між молекулами мають значення тільки для процесу встановлення теплової рівноваги. Час встановлення теплової рівноваги у газі настільки малий, що можна не цікавитися кінетикою цього процесу, тобто тим, як саме

встановлюється рівновага. Важливо тільки те, що зіткненнями молекул, отже, їх розмірами не можна нехтувати доки встановлюється теплова рівновага. Після того як у газі встановиться стан теплової рівноваги, зіткнення між молекулами вже не впливатимуть на тиск газу та його температуру і, можна вважати, що у такому стані газу його молекули не мають розмірів і нібито не зіштовхуються одні з одними.

3. У залежності від вибраної послідовності вивчення матеріалу учням дають або термодинамічне визначення ідеального газу, або молекулярно-кінетичне.

Якщо спочатку вивчають експериментальні газові закони, то вводять термодинамічне поняття ідеального газу, оскільки виникає необхідність показати межі їх застосування. Молекулярно-кінетичне визначення ідеального газу доцільно розглянути відразу ж після введення термодинамічного визначення.

Якщо прийняти дедуктивний підхід до вивчення газових законів, то виводу основного рівняння молекулярно-кінетичної теорії передують побудова моделі ідеального газу. У подальшому при виводі газових законів обговорюють межі їх застосування.

ОСНОВНЕ РІВНЯННЯ МОЛЕКУЛЯРНО-КІНЕТИЧНОЇ ТЕОРІЇ ГАЗІВ

Логіка введення основного рівняння МКТ газів на уроках фізики.

Введення основного рівняння МКТ ідеального газу, його аналіз дозволить конкретизувати ті загальні уявлення про методи дослідження в молекулярно-кінетичній теорії, які були створені в учнів у вступній бесіді, проведеної перед вивченням Молекулярної фізики. Для цього доцільно змінити, порівняно з традиційними, логіку і послідовність вивчення пов'язаних із цим рівнянням питань.

Після розкриття змісту основних положень МКТ і відповідних понять, використовуючи знання учнів з курсу фізики основної школи, розглядають тиск газу на стінки посудини. При цьому увага учнів звертається на зміст таких положень: тиск газу на стінки посудини зумовлений ударами молекул; оскільки молекул дуже багато і ударяються вони дуже часто, можна замінити їх сумарну дію на поверхню стінки безперервно діючою середньою силою тиску; чим вище температура газу, тобто чим швидше рухаються його молекули, чим більша їх концентрація, тим більший тиск чинить газ на стінки посудини.

Висувається навчальна задача: Як обчислити тиск газу на стінки посудини, враховуючи їх швидкості руху й концентрацію?

Пояснюється роль моделей у фізичних дослідженнях і приходять до висновку про необхідність створення моделі газу.

Розглядаються властивості газів і вводиться поняття "ідеальний газ" – модель газу з точки зору МКТ.

Пропонується з'ясувати, які наслідки можна отримати з моделі "ідеальний газ".

Вводяться положення, які стануть підґрунтям для виводу основного рівняння МКТ ідеального газу.

1. Молекули ідеального газу рухаються хаотично. Швидкість будь-якої молекули через хаотичність зіткнень з іншими молекулами весь час змінюється. Вод-

ночас, враховуючи величезну кількість молекул, що містяться у макроскопічному об'ємі, який займає газ, середнє значення модуля їх швидкостей за даних, незмінних умов має конкретне значення. Тому в подальшому, під час розгляду тиску газу на стінки посудини, мова йтиме про середнє значення швидкості величезної кількості молекул.

Під час розв'язування поставленої задачі – пошуку способу обчислення тиску газу на стінки посудини потрібними будуть поняття середнього значення квадрату швидкості і поняття середньої квадратичної швидкості.

Якщо модулі швидкостей окремих молекул позначити через v_1, v_2, \dots, v_N , де N – число молекул у газі, то величина $\bar{v}^2 = \frac{v_1^2 + v_2^2 + \dots + v_N^2}{N}$ називається середнім значенням квадрату швидкості, а величина $\bar{v} = \sqrt{\bar{v}^2}$ – середньою квадратичною швидкістю.

2. Хаотичний характер руху величезного числа молекул приводить до висновку: усі напрями руху молекул у газі рівноправні.

Це означає: 1) скільки молекул у середньому рухаються в одному напрямі, стільки ж молекул у середньому рухаються в протилежному напрямі. Іншими словами, лише половина молекул у середньому у виділеному об'ємі має, наприклад, проекцію швидкості $\bar{v}_x > 0$, у другій половини молекул $\bar{v}_x < 0$; 2) рівні середні значення квадратів проекцій швидкостей на координатні осі Ox, Oy, Oz : $\bar{v}_x^2 = \bar{v}_y^2 = \bar{v}_z^2$; 3) враховуючи, що квадрат модуля будь-якого вектора дорівнює сумі квадратів його проекцій на осі координат, тобто $\bar{v}^2 = \bar{v}_x^2 + \bar{v}_y^2 + \bar{v}_z^2$, отримуємо $\bar{v}^2 = 3\bar{v}_x^2$ або $\bar{v}_x^2 = \frac{1}{3}\bar{v}^2$.

3. Молекули ідеального газу уявляються у вигляді мізерно малих кульок, які взаємодіють зі стінками посудини за законами пружного удару.

Припустимо, швидкість молекули напрямлена під довільним кутом до стінки посудини. У випадку пружного удару кути падіння й відбивання однакові: $\alpha = \beta$. Під час зіткнення молекули зі стінкою посудини проекція v_{0x} її швидкості на напрям, перпендикулярний до поверхні стінки, змінює знак $v_x = -v_{0x}$, а проекції v_{0y} і v_{0z} швидкостей на напрями, паралельні стінці лишаються без змін: $v_y = v_{0y}$; $v_z = v_{0z}$. Зміна проекції імпульсу молекули на вісь Ox дорівнює:

$$m_0 v_x - m_0 v_{0x} = m_0 v_x - (-m_0 v_{0x}) = 2m_0 v_x.$$

За законом збереження імпульсу сумарний імпульс молекули і стінки посудини лишається незмінним. Це означає, що модуль зміни імпульсу стінки дорівнює модулю зміни імпульсу молекули. Інакше кажучи, під час зіткнень молекули зі стінкою останній передається імпульс, модуль якого дорівнює $2m_0|v_x|$.

Таким чином, із моделі "ідеальний газ" ми отримали наступні висновки:

1. Якщо в газі виділити будь-який об'єм, то в середньому половина молекул, що містяться в ньому, будуть зміщуватися в одному напрямі, наприклад, вздовж

осі ОХ, а інша половина – в протилежному напрямі.

2. Середнє значення квадрату проекції швидкості на координатну вісь, наприклад, ОХ, дорівнює одній третій середнього значення квадрату самої швидкості: $\bar{v}_x^2 = \frac{1}{3} \bar{v}^2$.

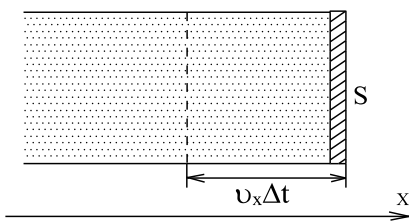
3. Під час зіткнення молекули масою m_0 зі стінкою посудини останній передається імпульс, модуль якого дорівнює $2m_0|v_x|$.

4. Для характеристики руху великого числа молекул треба взяти не квадрат швидкості (проекції швидкості), а середнє значення квадрату швидкості (проекції швидкості).

Ґрунтуючись на даних висновках розв'язується навчальна задача.

Тиск газу дорівнює відношенню середньої сили тиску до площі поверхні стінки S: $p = \frac{\bar{F}}{S}$.

Згідно 2-го закону Ньютона імпульс сили дорівнює зміні імпульсу тіла. Якби всі молекули, що діють на стінку за час Δt , підлітали до стінки зі швидкістю, проекція якої на вісь ОХ перпендикулярну до стінки була v_x , а число молекул дорівнювало N, то $F \cdot \Delta t = N \cdot 2m_0|v_x|$.



За час Δt стінки досягнуть, згідно 1-го висновку, половина всіх молекул, які містяться в об'ємі $V = |v_x| \cdot \Delta t \cdot S$, тобто половина з тих молекул, що перебувають на відстані не більше $v_x \Delta t$ від стінки.

Якщо концентрація молекул n, то число молекул, що ударяються о стінку за час Δt , дорівнюватиме: $N = \frac{1}{2} n |v_x| \Delta t S$.

Звідси випливає, що $F \Delta t = \frac{1}{2} n |v_x| \Delta t S \cdot 2m_0 |v_x|$ або $F = nm_0 v_x^2 S$. Враховуючи отриманий висновок 2 і 4, для середньої сили тиску запишемо $\bar{F} = \frac{1}{3} nm_0 \bar{v}^2 S$.

А тиск газу на стінку посудини обчислюється за формулою: $p = \frac{1}{3} nm_0 \bar{v}^2$.

Задача розв'язана. Отримана формула пов'язує макроскопічну величину тиск з характеристиками молекул – масою, середнім значенням квадрату їх швидкості.

Дане рівняння є основним рівнянням МКТ газу. Враховуючи, що $\bar{E}_k = \frac{m \bar{v}_0^2}{2}$ – середня кінетична енергія поступального руху молекул, $\rho = nm_0$ – густина газу, можна записати: $p = \frac{2}{3} n \bar{E}_k$ і $p = \frac{1}{3} \rho \bar{v}^2$.

РІВНЯННЯ СТАНУ ІДЕАЛЬНОГО ГАЗУ. ГАЗОВІ ЗАКОНИ

Рівняння стану. Закон Бойля-Маріотта. Закон Гей-Люссака. Закон Шарля. Логіка вивчення газових законів у шкільному курсі фізики.

1. Рівняння стану пов'язує тиск p , об'єм V , температуру T фізично однорідної системи в стані термодинамічної рівноваги: $f(p, V, T) = 0$.

Рівняння стану є необхідним доповненням до термодинамічних законів, що дозволяє застосувати їх до реальних речовин. Це рівняння отримують або на основі дослідів, або розраховують теоретично на основі уявлень про будову речовини методами статистичної фізики.

Рівняння стану ідеального газу: $pV = \frac{m}{M}RT$. Єдина величина в цьому рівнянні, яка залежить від роду газу, – це його молярна маса M . R – універсальна фізична величина. Її зміст – це робота розширення 1 моля ідеального газу при сталому тиску при нагріванні на 1К. З іншого боку, газова стала – різниця молярних теплоємностей за сталого тиску і сталого об'єму $C_p - C_v = R$ (для всіх сильно розріджених газів).

У записаному вигляді це рівняння вперше було отримано російським ученим Д.І.Менделєєвим.

З цього рівняння випливає зв'язок між тиском, об'ємом, температурою ідеального газу, який може перебувати в двох будь-яких станах: $\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}$.

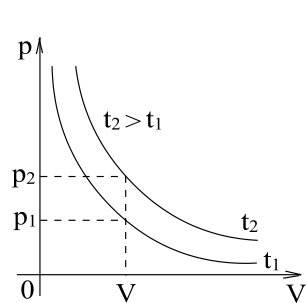
У такій формі рівняння стану було отримано французьким фізиком Б.Клапейроном.

Для рідин, через складності врахувань усіх особливостей взаємодії молекул, ще не вдалося отримати загальне теоретичне рівняння стану.

Для отримання рівняння стану твердих тіл використовують теорію коливань кристалічної решітки, але ще універсального рівняння для твердих тіл немає.

2. Газові закони були відкриті експериментально задовго до створення молекулярно-кінетичної теорії.

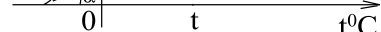
Ще у середині 17 століття Р.Бойль і Е.Маріотт, незалежно один від одного, експериментально встановили закон: для даної маси газу за сталої температури його тиск змінюється обернено пропорційно об'єму: $pV = const$ ($t = const$).



Графічно залежність $p(V)$ при сталій температурі зображується гіперболою. Кожному значенню температури відповідає гіперболічна крива, яка має назву ізотерми. Якщо провести ординату для конкретного значення V , то видно, що $p_2 > p_1$, отже, ізотерма, яка відповідає вищій температурі t_2 розміщується вище, ніж та, що відповідає температурі t_1 .

Процес переходу газу з одного стану в інший, який здійснюється при сталій температурі, називається ізотермічним.

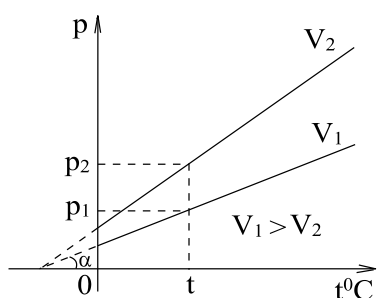
3. Залежність об'єму газу від його температури при сталому тиску була експериментально встановлена французьким фізиком Ж.Гей-Люссаком у 1802р.: за незмінної маси газу за сталого тиску між його об'ємом і температурою існує лінійна залежність $V = V_0(1 + \alpha_v t)$, ($p = const$), де V_0 – об'єм газу при температурі 0°C , α_v – термічний коефіцієнт об'ємного розширення газу.



Графічно залежність $V(t)$ при сталому тиску зображується прямою лінією – ізобарою. Кут нахилу ізобари до осі температури більший для меншого тиску.

Процес зміни стану газу при сталому тиску називається ізобарним.

4. Аналогічна залежність тиску газу від температури при сталому об'ємі



була експериментально встановлена французьким ученим Ж.Шарлем: за незмінної маси газу за сталого об'єму між його тиском і температурою існує лінійна залежність $p = p_0(1 + \alpha_p t)$, ($V = const$), де p_0 – тиск газу при температурі 0°C , α_p – термічний коефіцієнт тиску газу.

Графічно ця залежність зображується ізохорою. Процес зміни стану газу при сталому його об'ємі називається ізохорним.

Дослідження показали, що для газів термічні коефіцієнти α_v і α_p близькі між собою.

Для розрідженого газу, який можна розглядати як ідеальний

$$\alpha_v = \alpha_p = \frac{1}{273,15\text{K}}.$$

5. Можливі дві методики вивчення газових законів – індуктивний і дедуктивний. При індуктивному вивченні газових законів спочатку на якісному рівні розглядаються основні положення МКТ, потім деякі питання термодинаміки, газові закони вводять емпірично й пояснюють з точки зору молекулярних уявлень і на основі термодинамічного підходу. Емпіричний підхід до вивчення газових законів доступний для учнів; при його використанні уявлення й поняття формуються на чуттєво-конкретній основі, воно не потребує високого рівня абстрактного мислення, відповідає історії відкриття газових законів і дозволяє знайомити учнів із шляхами розвитку фізики. Недоліком цього підходу є те, що він не дозволяє повністю використати молекулярно-кінетичну теорію для опису властивостей ідеального газу.

При дедуктивному підході спочатку вивчають молекулярно-кінетичну теорію газу, зокрема, основне рівняння МКТ, потім рівняння стану газу і газові закони.

$$p = \frac{2}{3}n\bar{E}_k, \quad E_k = \frac{3}{2}kT \quad \rightarrow \quad p = nkT \quad \rightarrow \quad pV = \frac{m}{M}RT$$

Газові закони розглядають як наслідки рівняння стану ідеального газу й підтверджують експериментально. Далі можна вивчати закони термодинаміки й теплову машину.

Такий підхід має ряд переваг, порівняно з індуктивним, одна з них – сприяння підсиленню ролі фізичних теорій у шкільному курсі фізики. Крім того, він дозволяє наглядно продемонструвати той факт, що фундаментальних законів у фізиці не так багато, більшість же можуть бути отримані як часткові випадки з більш загальних законів. Застосування в даному випадку дедуктивного підходу відіграє важливу роль у формуванні наукового світогляду й розвитку мислення школярів. Він також дозволяє отримати вигреш у часі.

ВНУТРІШНЯ ЕНЕРГІЯ

Термодинамічний і молекулярно-кінетичний зміст поняття внутрішньої енергії.

У другій половині 19 століття для позначення внутрішньої енергії використовувалися різні терміни: механічна енергія тіла в даному стані, функція дії, енергія тіла тощо.

Поняття внутрішньої енергії увів Р.Клаузіус. Введення поняття внутрішньої енергії дозволило поширити закон збереження енергії на теплові процеси: при наявності дисипативних сил (робота проти дисипативних сил призводить до перетворення механічної енергії в енергію безладного теплового руху частинок) зменшення механічної енергії системи дорівнює збільшенню її внутрішньої енергії.

Під внутрішньою енергією тіла в *термодинаміці* розуміють енергію, яка залежить тільки від його внутрішнього стану й не пов'язана з рухом відносно інших тіл. Внутрішня енергія є однозначною *функцією стану* тіла, який визначається рядом параметрів (тиском, об'ємом, температурою). Це означає, що в кожному стані тіло (або система) має лише одне значення внутрішньої енергії. Це твердження можна довести так: якби одному й тому самому стану відповідали два значення внутрішньої енергії U_1 і U_2 , то можна було б відняти від системи різницю енергій $(U_1 - U_2)$, а стан би не змінився. Така система могла б являти собою джерело енергії, без усіх змін, що суперечить закону збереження енергії.

Термодинамічна трактовка поняття внутрішньої енергії не повністю розкриває його зміст. Для більш повного визначення цього поняття треба розглянути його *молекулярно-кінетичне* тлумачення.

У сучасній фізиці під внутрішньою енергією розуміють суму енергій хаотичного руху й взаємодії частинок системи (молекул, атомів, іонів та інших). Кінетична енергія руху системи як цілого і її потенціальна енергія у зовнішніх силових полях у внутрішню енергію не входять.

У термодинаміці та її додатках являє інтерес не саме значення внутрішньої енергії системи, а її зміна при змінах стану системи. Тому, як правило, приймають до уваги тільки ті складові внутрішньої енергії, які змінюються в процесах зміни стану речовини, що розглядаються. Тому при розгляді теплових явищ можна під внутрішньою енергією розуміти суму кінетичної енергії хаотичного руху молекул і потенціальної енергії їх взаємодії: $U = E_e + E_i$.

У випадку найпростішої фізичної системи з малою міжмолекулярною взаємодією – ідеального газу – зміна внутрішньої енергії ідеального газу зводиться до зміни кінетичної енергії молекул: $\Delta U = C_v m \Delta T$, де m – маса газу, C_v – питома теплоємність при сталому об'ємі. Тому ΔU для ідеального газу визначається тільки зміною температури ΔT . У фізичних системах, частини якої взаємодіють між собою (реальний газ, рідина, тверде тіло), внутрішня енергія включає також енергію міжмолекулярних взаємодій і взаємодій усередині молекул. Внутрішня енергія таких систем залежить як від температури, так і від тиску (об'єму).

Експериментально можна виміряти тільки зміну внутрішньої енергії в певному фізичному процесі, тобто внутрішня енергія визначається з точністю до пос-

тійного доданка. Методи статистичної фізики дозволяють у принципі розрахувати внутрішню енергію фізичної системи, але також лише з точністю до постійного доданка, який залежить від вибраного нуля відліку.

В області низьких температур при $T \rightarrow 0$ внутрішня енергія конденсованих систем (рідин і твердих тіл) наближається до певного постійного значення U_0 . Значення U_0 може бути прийняте за початок відліку внутрішньої енергії.

ТЕПЛОТА І РОБОТА

1. Не тільки в спеціальній, а й у навчальній літературі, призначеної для студентів вищих навчальних закладів, а зараз і в деяких шкільних підручниках з фізики, використовуються терміни "теплота", "тепло" в ситуаціях, у яких ці терміни мають різний фізичний зміст.

Однією із причин такого використання зазначених термінів є спеціальна модель теплоти, відома як теорія теплецю, що була найбільш поширеною в останній чверті 18 століття. Згідно цієї моделі теплота уявляється як деяка субстанція подібна до рідини й чим більше в тілі теплецю, тим більш нагріто тіло; теплообмін – це перетікання теплецю від більш нагрітого до менш нагрітого тіла; перетікаючи від більш нагрітого до менш нагрітого тіла, теплець може виконувати роботу тощо.

До введення поняття про внутрішню енергію для опису теплових властивостей тіл і теплових процесів вводилися термінами, в основу яких було покладене слово "тепло" – теплообмін, теплопровідність, теплоємність, кількість теплоти та інші. Зміст цих термінів так чи інакше був пов'язаний з теорією теплецю. Доречи, теорію теплових двигунів С.Карно створив, користуючись моделлю теплецю, й описав її у відповідній термінології, яка зберігається й у наш час.

Для спеціалістів у галузі фізики зрозуміло який зміст вкладається в конкретній ситуації в зазначені поняття, а для студентів, тим більше для учнів, кожний раз потрібні додаткові пояснення. Але, у даному випадку, формування в тих, хто навчається, дійсно наукових понять стає проблематичним.

Тому треба розглянути різні тлумачення зазначених термінів, з'ясувати їх істинний зміст, що сприятиме більш критичному відношенню до відповідних текстів існуючих підручників з фізики й створенню нових, більш досконалих навчальних посібників.

У наш час *теплота* розглядається як *форма* безладного (теплого) руху частинок (молекул, атомів, електронів, фотонів тощо), які утворюють тіла.

2. "Можливі дві форми передавання енергії від одного тіла до іншого – теплота і робота".

У даному, поширеному в курсах загальної фізики, твердженні термін "теплота" стає синонімом терміну "теплопередача", а термін "робота" означає процес передачі енергії.

У роботі – процесі приймають участь принаймні два тіла: одне тіло, з боку якого на інше тіло діє сила, виконує роботу, що супроводжується зменшенням його енергії; у другого тіла, над яким виконується робота, енергія збільшується.

Аналогічно в теплопередачі також приймає участь принаймні два тіла: у більш нагрітого тіла енергія зменшується, а менш нагрітого – збільшується.

Отже, теплопередача (теплота) і робота (процес роботи) мають спільне – це дві форми передавання енергії від одного тіла до іншого.

Водночас, ці дві форми передавання енергії мають суттєві відмінності.

Одна з них зводиться до того, що енергія впорядкованого руху одного тіла переходить в енергію впорядкованого руху іншого тіла або його частин. Це може відбуватися під час взаємодії макроскопічних тіл, розміри яких у багато разів більші за розміри окремих атомів або молекул. Таку форму передавання енергії в термодинаміці, як і в механіці, називають *роботою*. Так, наприклад, газ, що розширюється в циліндрі двигуна внутрішнього згорання, переміщує поршень і *передає йому енергію у формі роботи*.

Під час теплопередачі енергія передається сукупністю мікроскопічних процесів, які регулюються законами статистики (обмін енергією внаслідок зіткнень молекул, випромінювання світла тощо). Так, наприклад, при дотику холодного тіла і гарячої молекули другого тіла, які швидше рухаються, стикаються з молекулами першого тіла, що рухаються повільніше, і передають їм частину своєї кінетичної енергії. Внаслідок цього внутрішня енергія першого тіла збільшується, другого – зменшується, а їх температура вирівнюється. Саме такий зміст вкладається у твердження, що наведений приклад є випадком *передавання енергії у формі тепла*.

Отже, твердження "передача тепла", "передача енергії у формі тепла" вказує на те, що мова йде про теплопередачу (теплообмін).

3. Термін "робота" вживається в двох смислах: як сам процес роботи і як кількісна його міра – робота, що дорівнює кількості енергії, переданої у формі роботи – у процесі роботи від одного тіла, яке виконує роботу, до іншого тіла, на зміну стану якого ця робота спрямована.

Як видно в даному висловленні весь час повторюється термін "робота", але зміст його різний. Щоб підкреслити цей факт використовується назва – процес роботи, хоч це вплинуло на побудову речення.

Аналогічна ситуація виникає при вживанні терміну "теплота" або "тепло".

Як і у випадку роботи, термін "тепло" (теплота) використовується не тільки як основа для позначення певних процесів – теплопередача, теплопоглинання, тепловіддача, теплове випромінювання й інших – терміном "тепло" позначають міру ефективності вказаних процесів, переданої у формі тепла (теплопередачі). Інша назва цієї міри – кількість теплоти.

Отже, кількість теплоти (тепло, теплота) дорівнює величині енергії, переданої від більш нагрітих тіл до менш нагрітих у процесі теплопередачі.

Кількість теплоти характеризує процес зміни стану системи і визначається завданням процесу переходу системи з одного стану в інший.

Кількість теплоти не є функцією стану, вона, згідно першого закону термодинаміки, визначається зміною внутрішньої енергії і виконанням роботи, отже, залежить від процесу переходу тіла з одного стану в інший.

$Q = \Delta U + A$. Під час зміни внутрішньої енергії на величину ΔU можливі такі випадки: робота A не виконується; робота виконується; ця робота може мати різні

значення. Тому, тіло при переході із стану А в стан В може одержати різні кількості теплоти Q . Отже, немає смислу твердження про те, що тіло має певну кількість теплоти в стані В або взагалі в будь-якому іншому стані. Можна говорити лише про внутрішню енергію, яка міститься в тілі, тому що в кожному стані тіло володіє лише одним певним значенням енергії.

4. У навчальній і спеціальній літературі з фізики можна зустрітися з іншим тлумаченням "теплоти" як "теплової енергії". У даному випадку ототожнюються поняття "теплова енергія" і "енергія теплового руху" частинок, з яких складається тіло. Отже, із загальної внутрішньої енергії тіла виокремлюється теплова енергія – сума енергій усіх видів безладного руху частинок тіла (молекул, атомів, електронів тощо). Таке виокремлення теплової енергії можливе лише в тому випадку, якщо є достатньо повна теорія, яка враховує усі види можливих безладних рухів зазначених частинок тіла і залежність цих рухів від температури. При цьому ця теорія не може ґрунтуватися тільки на уявленнях класичної механіки, а враховувати особливий, квантовий характер руху молекул.

Недоцільність введення поняття "теплової енергії" можна пояснити й на іншому прикладі.

Припустимо, що теплова енергія – це сумарна кінетична енергія тільки молекул даного тіла, тобто ототожнимо "теплову енергію" з молекулярно-кінетичною енергією – енергією поступального руху тільки молекул.

При ототожненні "теплової енергії" і "молекулярно-кінетичної енергії" прихована не висловлена до кінця, зовсім помилкова думка, що найбільшу кількість теплоти (тепла), яку може віддати тіло при охолодженні, нібито дорівнює енергії хаотичного руху частинок тіла. Слід урахувати наступне: термін "охолодження" вживається в двох смислах – як зниження температури тіл, і як віддавання частини внутрішньої енергії тіла іншим тілам у процесі теплопередачі. Наприклад, при конденсації пари віддача тепла (кількості теплоти) відбувається, головним чином, за рахунок зменшення молекулярно-потенціальної енергії тіла, а не за рахунок зменшення запасу молекулярно-кінетичної енергії.

5. Як розуміти твердження "взаємоперетворення роботи і теплоти"?

У даному випадку розуміють дві форми передавання енергії (робота – процес роботи, теплота – теплопередача) які переходять одна в одну і в реальних умовах супроводять одна одну. Так, наприклад, при нагріванні металевого стержня не тільки збільшується його внутрішня енергія, а відбувається також розширення стержня, і, отже, виконується робота розширення.

Можливе й таке пояснення вказаного твердження, розуміючи під теплою тепловий рух частинок, а під роботою – упорядкований рух тіл або їх частин: хаотичний рух частково може переходити в упорядкований рух тіл або їх частин і, навпаки, упорядкований рух тіл може переходити (навіть повністю) у хаотичний рух частинок.

Досліди показали, що "теплота" перетворюється в "роботу", або "робота" у "теплоту", завжди в точно відповідних кількостях.

6. Як видно термін "теплота" позначає: форму безладного (теплого) руху частинок з яких складаються тіла; одну із форм передачі енергії (теплопередачу); кількість теплоти; сумарну кінетичну енергію всіх можливих безладних рухів час-

тинок тіла (теплову енергію).

У шкільних підручниках з фізики треба так викласти навчальний матеріал, щоб позбавитися від цієї багатозначності терміну "теплота" ("тепло"), враховуючи, що такий підхід відповідатиме сучасним уявленням у науці-фізиці. Доцільно обмежитися такими основними поняттями: внутрішня енергія; кількість теплоти (тепло) – міра зміни внутрішньої енергії тіл під час теплопередачі.

Наприклад, визначення: "передавання теплоти від більш нагрітих частин тіла до менш нагрітих, яке веде до вирівнювання температур без перенесення речовини, називається теплопровідністю", треба замінити на інше: "Перенос енергії від більш нагрітих ділянок тіла до менш нагрітих у результаті теплового руху й взаємодії частинок, називається теплопередачею". У другому визначенні відсутній термін "теплота", адже "передавання теплоти" і "теплопередача" це в даному контексті одне й те саме. У першому визначенні обмежуються видовою ознакою "без перенесення речовини". Цього не достатньо для визначення теплопровідності, адже з такою ознакою відбувається й інший вид теплопередачі – теплове випромінювання.

ПЕРШИЙ ЗАКОН (НАЧАЛО) ТЕРМОДИНАМІКИ

Перше начало термодинаміки, один із двох основних законів термодинаміки, являє собою закон збереження енергії для систем, у яких істотно значення мають теплові процеси.

Перше начало термодинаміки було сформульовано в середині 19 століття в результаті праць німецького вченого Ю.Р.Майєра, англійського фізика Дж.П.Джоуля і німецького фізика Г.Гельмгольца.

Як і будь-яке широке узагальнення, цей закон допускає декілька різних формулювань, загальний смисл яких один і той самий, але їх використовують для обговорення різних конкретних задач.

У досить загальній формі цей закон можна сформулювати так: зміна ΔU внутрішньої енергії системи дорівнює сумі наданої їй кількості теплоти Q і роботі A' , виконаної над системою зовнішніми силами: $\Delta U = Q + A'$.

Якщо замість роботи A' ввести рівну їй за величиною, але протилежну за знаком роботу A , виконану системою над зовнішніми тілами ($A = -A'$), то можна записати: $\Delta U = Q - A$ або $Q = \Delta U + A$.

Останнє співвідношення є іншою формою запису першого начала термодинаміки. Воно показує, що підведена до системи кількість теплоти Q частково йде на збільшення її внутрішньої енергії ΔU і частково на виконання системою роботи A над зовнішніми тілами.

Дуже важливим є випадок, коли система являє собою періодично діючу машину, у якій газ, пара або інше "робоче тіло" внаслідок деякого процесу, повертається до початкового стану. У даному випадку $\Delta U = 0$, так що $A = Q$.

Робота, що виконується за один цикл, дорівнює підведеній ззовні теплоті Q . Цей висновок дає змогу сформулювати перше начало термодинаміки так: Неможливо побудувати періодично діючий двигун, який виконував би роботу без підве-

дення енергії ззовні, або виконував би роботу більшу, ніж кількість переданої ззовні енергії (вічного двигуна першого роду).

На відміну від закону збереження енергії, який справедливий для всіх без виключення явищ, зокрема, і в мікросвіті, перший закон термодинаміки має певні межі застосування. Справа в тому, що робота й теплообмін – різні форми зміни внутрішньої енергії. Робота – макрофізична, а теплообмін – мікрофізична форма зміни цієї енергії. У випадку мікросистем, порівняно з розмірами молекул, відміна між теплообміном і роботою зникає. Такі системи і складають "нижню" межу застосування першого закону термодинаміки. При переході до явищ у нескінченному Всесвіті, застосовність цього закону в принципі зберігається, тобто цей закон не має верхньої межі застосування.

Можна зустрітися з таким записом першого закону термодинаміки: $\Delta Q = \Delta U + \Delta A$. При цьому важливо мати на увазі, що ΔQ і ΔA не можна розглядати як збільшення або зменшення (зміну) відповідних величин Q і A . Символ ΔU означає зміну внутрішньої енергії, символи ΔQ і ΔA означають не зміну, а елементарні значення кількості теплоти і роботи.

ΔU розглядають як зміну, адже U – є функцією стану, величини Q і A не є функціями стану, адже їх значення залежить від шляху переходу системи з одного стану в інший.

Перший закон термодинаміки дозволяє з'ясувати нові характеристики ізопроесів в ідеальних газах.

При ізобарному нагріванні кількість теплоти, переданої системі, йде на збільшення її внутрішньої енергії і на виконання системою роботи розширення при сталому тиску. Робота розширення додатна й дорівнює $p\Delta V$. Збільшення внутрішньої енергії в даному процесі дорівнює $\Delta U = Q_p - p\Delta V$.

При ізобарному охолодженні внутрішня енергія системи зменшується. Кількість теплоти, яку вона віддає, дорівнює зміні внутрішньої енергії системи й роботі по стисканню газу. У цьому випадку кількість теплоти і робота системи від'ємні. Внутрішня енергія системи зменшується.

При ізохорному процесі робота дорівнює нулю, тому що об'єм газу не змінюється, тому зміна внутрішньої енергії дорівнює кількості теплоти. При нагріванні кількість теплоти Q_v і зміна внутрішньої енергії ΔU додатні, тобто внутрішня енергія збільшується, при охолодженні – внутрішня енергія зменшується.

При ізотермічному процесі температура стала, тому $\Delta U = 0$, тобто внутрішня енергія не змінюється. Якщо система отримає деяку кількість теплоти, то вона йде на роботу, яку виконує газ при розширенні. При ізотермічному стисканні система віддає тепло: $-Q = -p\Delta V$; $Q = p\Delta V$.

При адіабатному процесі не відбувається теплообміну з оточуючим середовищем, тому кількість теплоти $Q = 0$. Отже, внутрішня енергія змінюється лише за рахунок виконання роботи. При цьому при розширенні система виконує додатну роботу: $\Delta U + p\Delta V = 0$, $-\Delta U = p\Delta V$ – внутрішня енергія системи зменшується.

При стисканні зовнішні сили виконують додатну роботу, а газ – від'ємну; внутрішня енергія збільшується, газ нагрівається.

ДРУГИЙ ЗАКОН (НАЧАЛО) ТЕРМОДИНАМІКИ

У шкільному курсі фізики розглядається поняття про необоротність теплових процесів, що відображено в даному законі.

Відомі різні формулювання другого закону термодинаміки.

Формулювання Клаузіуса: неможливий процес, єдиним результатом якого є передача енергії в тепловій формі від холодного тіла до гарячого.

Формулювання Кельвіна: неможливий процес, єдиним результатом якого є перетворення всієї теплоти, отриманої від даного тіла, у еквівалентну їй роботу.

У цих випадках важливо зрозуміти смисл термінів, що вживаються.

Із другого закону термодинаміки випливає, що дві форми передачі енергії – робота і теплота (розуміється теплопередача), які не рівноцінні. Процес переходу впорядкованого руху частинок речовини, тобто рух тіла як цілого, у неупорядкований рух цих частинок необоротний. Упорядкований рух може переходити в неупорядкований поза зв'язку з будь-якими додатковими процесами, що мають назву компенсуючих. Такий перехід має місце, наприклад, під час руху рідин і газів та зумовлений внутрішнім тертям. Зворотний перехід неупорядкованого руху в упорядкований можливий лише за умови, що він супроводжується деяким компенсуючим процесом. Наприклад, при ізотермічному розширенні ідеальний газ виконує роботу, яка повністю еквівалентна теплоті, що надається газу. Теплота (мається на увазі кількість теплоти), що отримується від нагрівника, повністю перетворюється в еквівалентну роботу. Водночас газ при цьому розширюється, його питомий об'єм збільшується. Це і є у даному випадку компенсуючий процес – виконання тілом роботи за рахунок теплоти, яке воно отримує, не є єдиним результатом процесу, що розглядається.

Теплова машина, що працює за циклом Карно, виконує роботу за рахунок тепла, яке отримує робоче тіло від нагрівника. Але при цьому частина отриманої теплоти передається холодильнику й робота за цикл не еквівалентна всій підведеній теплоті.

М.Планк запропонував таке формулювання другого закону термодинаміки: "Не можна побудувати періодично діючу машину, уся діяльність якої зводилася б у підніманні важкої речі й охолодженні теплового резервуара". Іншими словами, зміст цього формулювання виразив Пуанкаре: такий періодичний процес, єдиним результатом якого було б перетворення теплоти в роботу, неможливий.

Часто закону надають іншої форми: неможливий вічний двигун (перпетуум мобіле) другого роду.

Під "перпетуум мобіле" другого роду розуміють машину, яка виконує роботу за рахунок теплоти, що отримується при контакті тільки з одним тепловим резервуаром.

У сучасній термодинаміці цей закон формулюють єдиним і самим загальним чином, як закон зростання ентропії в замкнених системах: $dS \geq 0$. Цей закон має статистично імовірний характер і виражає загальну тенденцію системи до переходу у більш імовірний стан.

РОБОТА ТЕПЛОВИХ ДВИГУНІВ

З тепловими двигунами учні ознайомлюються вперше в курсі фізики 8-го класу, а потім – 10-го класу. Зміст цього навчального матеріалу пов'язаний з рядом положень:

1. Серед різних видів двигунів, що використовуються в сучасній техніці, теплові двигуни займають виключне місце.

2. Обов'язковими складовими частинами теплового двигуна є: нагрівник, робоче тіло і холодильник.

3. Фундаментальна відмінність теплових двигунів від усіх інших полягає в наступному: в основі роботи теплового двигуна використовується необоротне перетворення внутрішньої енергії палива в механічну енергію.

4. Усі теплові двигуни неперервної дії працюють циклічно: в них послідовно стискується і розширюється робоче тіло (як правило, газ) при його періодичному нагріванні й охолодженні. Тепловий цикл – найважливіша характеристика роботи двигуна. У сучасних двигунах використовуються різноманітні комбінації процесів стискування й розширення робочого тіла, що складають цикл.

5. Економічність роботи двигуна за різними циклами оцінюється за допомогою ККД (коефіцієнта корисної дії). Для теплових двигунів, які працюють за циклом Карно ККД визначається формулою $\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$. Цикл Карно ідеальний, його не

можна використовувати в реальних двигунах. Але формула Карно вказує загальний шлях підвищення ККД будь-якого теплового двигуна: необхідно підвищувати температуру нагрівника T_1 і знижувати температуру холодильника T_2 . ККД будь-якого теплового двигуна завжди менше одиниці.

При згорянні сучасних видів палива можна отримати температуру більше 2000К, але жодний з відомих конструктивних матеріалів не може тривалий час працювати при такій температурі. Знизити температуру холодильника до абсолютного нуля не можливо. ККД більшості теплових двигунів не перевищує 30-40%.

ЛОГІКА ВИВЧЕННЯ ОКРЕМИХ ТЕМ РОЗДІЛУ МОЛЕКУЛЯРНА ФІЗИКА В СТАРШІЙ ШКОЛІ

Для того щоб установити зв'язок між відомостями з Молекулярної фізики, про які дізнаються учні з курсів фізики основної й старшої шкіл, створити умови для усвідомлення учнями причин розгляду відповідного навчального матеріалу – мотивації їх навчальної діяльності, необхідно визначити логіку вивчення окремих тем.

Наведені логіки вивчення тем "Властивості газів, рідин, твердих тіл" і "Основи термодинаміки" не є універсальними, але на їх основі вчитель може планувати навчальний процес, враховуючи наявні навчальні посібники для учнів й особистий досвід як вчителя фізики.

Властивості газів, рідин, твердих тіл

Зміст даної теми можна поділити на такі частини: 1) зміст основних положень молекулярно-кінетичної теорії; 2) властивості газів; 3) властивості пари; 4) властивості рідин; 5) властивості твердих тіл.

На першому етапі вивчення теми доцільно дати загальну характеристику Молекулярній фізиці, методам дослідження в ній, а після цього сформулювати основні положення молекулярно-кінетичної теорії.

Уявлення про молекулярно-кінетичну теорію, зв'язок між методами дослідження конкретизується під час вивчення властивостей газів. Властивості пари, рідин, твердих тіл пояснюються на основі уявлень про молекулярно-кінетичну теорію.

I. Ми розпочинаємо знайомитися з розділом фізики-науки, який має назву "Молекулярна фізика". Це дозволить пояснити властивості тіл, що перебувають у різних агрегатних станах, з'ясувати те, що приховано від наших органів чуття, виявити залежність властивостей тіл і фізичних явищ, що спостерігаються, від будови речовини та особливостей молекулярного руху.

Знання, що відносяться до Молекулярної фізики широко використовуються в різних галузях науки і техніки.

У процесі розвитку Молекулярної фізики від неї виокремлюються самостійні науки, зокрема, фізична хімія й молекулярна біологія. Основні уявлення Молекулярної фізики використовуються у фізиці плазми, фізиці металів й інших галузях науки. Молекулярна фізика є науковою основою сучасного матеріалознавства, вакуумної технології, порошкової металургії. Саме Молекулярна фізика вказує напрями створення нових матеріалів з наперед заданими властивостями – механічними, тепловими, електричними, магнітними, оптичними.

При всій різноманітності задач і методів їх вирішення у зазначених випадках є спільне: усі дослідження ґрунтуються на основі молекулярної будови об'єктів досліджень.

Які методи досліджень у Молекулярній фізиці?

Перший метод, який має назву статистичного, ґрунтується на визначенні поведінки не окремих частинок, з яких складаються тіла, а всієї їх сукупності.

Під час вивчення властивостей макроскопічних тіл враховується наступне: макроскопічні тіла складаються з величезного числа частинок – молекул, атомів; ці частинки рухаються хаотично, тобто фізичні величини, що характеризують цей рух – координати, швидкості безперервно, хаотично змінюються; сукупність величезної кількості частинок, що хаотично рухаються, мають властивості, які не притаманні окремим частинкам. Тому, щоб виявити й описати ці властивості в Молекулярній фізиці оперують середніми значеннями фізичних величин, що характеризують окремі частинки.

Другий метод, який має назву термодинамічного, не враховує внутрішню будову речовини. Предметом вивчення в даному випадку є властивості тіл, що спостерігаються на досліді. Для опису цих властивостей використовуються такі фізичні величини як тиск, температура, об'єм та інші. Ці фізичні величини можна виміряти.

Обидва методи досліджень у Молекулярній фізиці доповнюють один одно-

го, що дозволяє більш повно описати фізичні властивості тіл, фізичні явища, які розглядаються.

Перед нами стоїть задача: Виявити й пояснити властивості газів, рідин, твердих тіл, виходячи з їх внутрішньої будови.

Указана задача в Молекулярній фізиці розв'язується на основі фізичної теорії, яка має назву молекулярно-кінетичної.

Пригадують, що учні знають про будову речовини з курсу фізики 7 класу. Вчитель узагальнює цей матеріал і формулює основні положення молекулярно-кінетичної теорії.

Після формулювання цих основних положень молекулярно-кінетичної теорії розв'язуються наступні навчальні задачі:

1. Які дослідні обґрунтування основних положень молекулярно-кінетичної теорії?

Повторюється, доповнюється відповідний матеріал, що відомий учням з курсу фізики 7 класу.

2. В основних положеннях МКТ стверджується, що між молекулами, з яких складаються тіла, діють сили притягання й відштовхування. Постає питання: Чи можуть одночасно діяти ці сили, адже на досліді виявляється або притягання, або відштовхування між молекулами чи атомами?

Повторюється і доповнюється те, що учні знають про молекулярні сили.

3. В основних положеннях МКТ стверджується, що речовина складається з молекул і атомів. Причому, у макроскопічному тілі міститься величезна кількість цих частинок. Виникає питання: Як зручніше оцінювати маси даних частинок і їх число в макроскопічному тілі?

Вводяться поняття: відносна молекулярна (атомна) маса, кількість речовини, молярна маса.

4. В основних положеннях МКТ стверджується, що частини, з яких складаються тіла, перебувають у безперервному хаотичному русі. З'ясуємо на прикладі газу, чи з однаковими швидкостями рухаються молекули при незмінних умов і як це досліджується.

Вивчається дослід Штерна.

Властивості газу

II. На попередніх уроках було з'ясовано зміст основних положень молекулярно-кінетичної теорії. Прикладом використання цієї теорії є її застосування до процесів, що відбуваються в газах.

Як відомо, будь-який процес являє собою перехід певної системи, зокрема, тіла, з одного стану в інший.

Кожний стан описується певними фізичними величинами.

У Механіці механічний стан характеризується координатами і швидкістю руху тіла. Перехід тіла з одного стану в інший – механічний рух – визначається змінами цих величин. Знання того, за якими законами змінюються ці величини, дозволяє передбачати стан механічного руху в будь-який момент часу.

Якщо розглядати газ, то характеристикою його стану є перш за все тиск.

Саме вимірюючи тиск газу, ми можемо виявити наявність самого газу й з'ясувати те, що з ним відбулося.

Газ, як макроскопічне тіло, займає певний об'єм. Перехід газу з одного стану в інший може супроводжуватися зміною його об'єму. Об'єм також є характеристикою стану.

Нарешті, зміну стану газу можна викликати або механічною дією – стисканням або розширенням газу під впливом інших тіл, або шляхом нагрівання та охолодження. Отже, стан газу повинен визначатися температурою.

Таким чином, для характеристики стану газу треба знати його тиск, об'єм, температуру, які є параметрами стану газу.

З уроків фізики в 7 і 8 класах ви знаєте, що фізичні величини – тиск газу, об'єм, температуру можна виміряти і, отже, дослідним шляхом можна встановити залежності між даними величинами при переході тіла з одного стану в інший.

Водночас, цю задачу можна розв'язати й іншим шляхом: встановити зв'язок між тиском газу, його температурою і величинами, що характеризують внутрішню будову газу. Так поступають у молекулярно-кінетичній теорії.

Поставимо перед собою задачу: Пояснити й кількісно виразити тиск газу, виходячи з того, що газ являє собою макроскопічне тіло, яке складається з величезної кількості молекул, що перебувають у безперервному хаотичному русі.

Це дозволить нам теоретично встановити закони, яким підлягають процеси в газах, тобто встановити зв'язки між фізичними величинами – параметрами стану газу: тиском, об'ємом, температурою. А для цього нам треба описати тиск і температуру з точки зору молекулярно-кінетичної теорії.

Щоб отримати зв'язок між фізичними величинами – тиском, температурою, що характеризують газ як ціле, і фізичними величинами, які характеризують внутрішню будову газу, необхідно вибрати модель газу. Так ми поступали при вивченні механіки. У механіці ми розглядали модель реальних тіл – матеріальну точку, для якої були одержані закони руху. Потім ці закони поширювали на рух реальних тіл.

Після цього розв'язуються наступні навчальні задачі:

1. Що являє собою модель газу?

Вводиться поняття ідеального газу.

2. Як вимірюється температура?

Повторюється і доповнюється те, що учні знають про вимірювання температури з основної школи.

3. Що являє собою температура з точки зору МКТ?

Пояснюється температура на основі МКТ.

4. Що являє собою тиск газу з точки зору МКТ?

Повторюються і доповнюються знання учнів з курсу фізики основної школи.

5. Як пов'язаний тиск газу з фізичними величинами, що характеризують молекули газу?

Вводиться основне рівняння МКТ ідеального газу.

6. Який зв'язок між параметрами стану газу?

Вводиться рівняння стану газу і газові закони.

Підводяться підсумки викладеного.

Властивості пари

III. У природі, техніці, побуті ми часто зустрічаємося з перетворенням рідин і твердих тіл на газоподібний стан. В ясний літній день швидко висихають калюжі після дощу, мокра білизна. З часом, зменшуючись зникають шматочки сухого льоду, зменшуються шматочки нафталіну, яким пересипають вовняні речі тощо. У всіх цих випадках спостерігається процес перетворення речовини на газоподібний стан – пару.

Як ви знаєте пароутворення відбувається двома способами – випаровуванням і кипінням. Пригадують те, що учні знають про випаровування

Виникає питання: Чи можна застосувати до пари рівняння стану газу і газові закони?

А для цього необхідно з'ясувати властивості пари.

1. Вводяться поняття насиченої і ненасиченої пари.

2. Доповнюються знання учнів про кипіння.

В атмосфері Землі завжди міститься величезна кількість водяної пари, особливо в ближніх до її поверхні шарах.

Наявність водяної пари в повітрі є необхідною умовою існування життя на Землі. Для тваринного і рослинного світу несприятливе й дуже сухе повітря й занадто вологе. Надмірна вологість шкідлива для деяких виробничих процесів, для зберігання продуктів і матеріалів. Тому важливою є задача: Як оцінювати ступінь вологості повітря?

Вводяться поняття абсолютної, відносної вологості повітря, точки роси, гігрометра, психрометра.

Розглядаються умови застосування рівняння стану газу і газових законів до пари.

Властивості рідини

IV. У 7 класі під час розгляду будови речовини були з'ясовані найбільш загальні властивості рідини: рідина зберігає свій об'єм і приймає форму посудини, в якій вона знаходиться. Але рідина має ще ряд властивостей, які враховуються в побуті, техніці.

Розв'язуються наступні навчальні задачі:

1. Які властивості рідини і як їх пояснити?

Пояснюється те, що рідина має властивості як газоподібних, так і твердих речовин.

2. Демонструються досліди: утворення мильної плівки на дротяному кільці, скорочення цієї плівки та інші. Виникає питання: Як пояснити ці явища?

Вивчається явище поверхневого натягу рідини.

3. Пояснити явища: У стані невагомості одна рідина розтікається по стінкам посудини, а інша збирається у вигляді великої краплі в середині посудини.

Вивчається явище капілярності.

Властивості твердих тіл

У техніці і побуті людина постійно використовує речовини, що знаходяться у твердому стані. Для виготовлення предметів побуту, щоб будувати надійні будинки, мости, верстати, різноманітні машини необхідно знати властивості матеріалів, що використовуються для цього: бетону, сталі, залізобетону, пластмас тощо. Конструктор повинен заздалегідь знати поведінку матеріалів при різноманітних умовах. Враховувати властивості речовин, що знаходяться у твердому стані вимушена будь-яка людина, користуючись ними у повсякденному житті. Цим пояснюється необхідність вивчення властивостей твердих тіл.

Після цього розв'язуються навчальні задачі:

1. На які групи можна поділити тверді тіла? Чому?

Вводяться поняття про кристалічні та аморфні тіла.

2. Ви вже знайомі з деформаціями твердих тіл. Перед нами стоїть задача: сформулювати основний закон, якому підлягають пружні деформації стискання й розтягу.

Повторюються і доповнюються поняття про деформацію твердих тіл і закон Гука.

3. Які механічні властивості твердих тіл і як ці тіла поділяються за цими властивостями?

Вводяться поняття про пружність, пластичність, крихкість і міцність твердих тіл.

4. На закінчення дається поняття про рідкі кристали і створення матеріалів із заданими технічними властивостями.

ОСНОВИ ТЕРМОДИНАМІКИ

Розвиток промисловості в 18 столітті поставив перед технікою задачу створення машин-двигунів. Водяні і повітряні колеса, що використовувалися, важко було застосовувати на фабриках, які, як правило, знаходилися в містах, та й потужність їх була недостатньою. Тому в той час стали з'являтися спроби створити двигун, який мав бути достатньо потужним, зручним і економічним в експлуатації.

Багатьох винахідників захоплювала мрія побудувати вічний і дармовий двигун - "перпетуум мобіле". Було запропоновано багато фантастичних проектів. Придумувалися хитроумні сполучення важелів, блоків, колес. Але пристрої такого роду не тільки не народжували бажаної рухомої сили, а, навпаки, для приведення їх у рух вони самі потребували зовнішніх дій.

На ґрунті цих численних невдалих спроб почало складуватися розуміння того, що для створення нового двигуна необхідно взагалі вийти за межі механічного руху, а звернутися до інших, немеханічних явищ - до теплових явищ - до "рухомої сили вогню". У зв'язку із цим стала розвиватися термодинаміка, у якій міститься відповідь про можливість створення "вічного двигуна".

З 8 класу ви знаєте, що в основу дії теплових машин покладено перетворен-

ня внутрішньої енергії палива на механічну енергію.

Теплова машина складається з нагрівача, робочого тіла і холодильника.

Внутрішня енергія робочого тіла збільшується за рахунок одержаної від нагрівача кількості теплоти. Частина цієї енергії віддається холодильнику, а частина йде на виконання машиною роботи.

Для того щоб обґрунтувати обов'язкову наявність в теплових машинах цих складових частин і водночас можливість або неможливість створення "вічного двигуна", спочатку необхідно пригадати те, що ви знаєте про внутрішню енергію, кількість теплоти й пов'язані з ними інші величини, а потім розглянути перетворення внутрішньої енергії в механічну енергію.

Повторюються поняття: внутрішня енергія, кількість теплоти, питома теплоємність. Розв'язуються задачі на рівняння теплового балансу.

Повторюються поняття пов'язані з плавленням кристалічних тіл і згорянням палива. Розв'язуються задачі.

Після цього розв'язуються навчальні задачі:

1. Як уже відмічалось в тепловій машині внутрішня енергія палива частково перетворюється на механічну енергію, - газ виконує роботу. Тому нам необхідно з'ясувати: як обчислити роботу газу?

Вводяться поняття про роботу газу в різних ізопроцесах.

2. З'ясуємо наступне: Чи можна побудувати машину яка б могла нескінченно довго виконувати роботу за рахунок кінцевого значення внутрішньої енергії будь-якої системи? Іншими словами: Чи можна створити машину за допомогою якої можна було б одержувати енергію з нічого?

Вводиться перший закон термодинаміки.

3. З'ясуємо наступне: Чи можна створити машину, здатну виконувати роботу тільки за рахунок охолодження одного тіла?

Дається поняття про другий закон термодинаміки.

4. Якими шляхами можна підвищити ККД теплової машини?

Повторюється і доповнюється те, що учні знають про теплову машину.

Підсумком є розгляд застосування теплових машин й проблем охорони навколишнього середовища.

ПРАКТИЧНІ ЗАНЯТТЯ
Розв'язування практичних задач
у циклах навчального процесу
з вивчення понять і законів
молекулярної фізики

ВЛАСТИВОСТІ ГАЗІВ І ПАРИ

Студент повинен уміти розв'язувати задачі типу:

1. Стальний балон заповнено азотом за температури $t = 12^{\circ}\text{C}$. Тиск азоту $p = 15 \cdot 10^6 \text{ Па}$. Визначити густину азоту за цих умов. За якої температури тиск зростає до $p_1 = 18 \cdot 10^6 \text{ Па}$? Розширенням стінок балону знехтувати.

$$\text{(Відповіді: } \rho = \frac{pM}{RT} \approx 180 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}, \quad T_1 = \frac{p_1}{p} T = 342 \text{ К)}$$

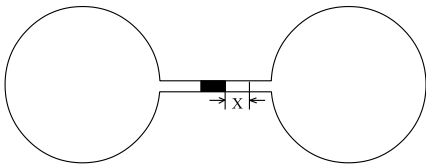
2. Дві посудини сполучені тонкою трубкою з краном. В одній посудині, об'єм якої $V_1 = 2 \text{ л}$, міститься азот під тиском $p_1 = 1,4 \cdot 10^5 \text{ Па}$ і за температури $t_1 = 7^{\circ}\text{C}$. У другій, об'єм якої $V_2 = 4 \text{ л}$, – вуглекислий газ під тиском $p_2 = 1,6 \cdot 10^5 \text{ Па}$ і за температури $t_2 = 47^{\circ}\text{C}$. Який встановиться тиск у посудинах, якщо кран буде відкрито, а температура стане $t = 27^{\circ}\text{C}$?

$$\text{(Відповідь: } p = \left(\frac{p_1 V_1}{T_1} + \frac{p_2 V_2}{T_2} \right) \frac{T}{V_1 + V_2} = 1,5 \cdot 10^5 \text{ Па)}$$

3. На поверхні Венери температура і атмосферний тиск відповідно дорівнюють 750 К і 9120 кПа . Визначити густину атмосфери у поверхні планети, вважаючи, що вона складається з вуглекислого газу.

$$\text{(Відповідь: } 64,4 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3})$$

4. Два однакових балони, які містять газ за температури 0°C , з'єднані вузькою горизонтальною трубкою діаметром $d = 5 \text{ мм}$, посередині якої знаходиться краплина ртуті. Краплина поділяє всю посудину на два об'єми по $V = 200 \text{ см}^3$. На яку відстань зміститься краплина, якщо один балон нагріти на $\Delta t = 2^{\circ}\text{C}$, а другий на стільки ж охолодити?



Зміною об'ємів посудин знехтувати.

$$\text{(Відповідь: } x = \frac{4V\Delta T}{\pi d^2 T} = 7,45 \text{ мм)}$$

5. Скільки молекул повітря виходить із кімнати об'ємом $V_0 = 120 \text{ м}^3$ при підвищенні температури від $t_1 = 15^{\circ}\text{C}$ до $t_2 = 25^{\circ}\text{C}$? Атмосферний тиск $p_0 = 750 \text{ мм рт.ст.}$

$$\text{(Відповідь: } n = \frac{p_0 V_0 (T_2 - T_1) N_A}{RT_1 T_2} \approx 10^{25})$$

6. Газопроводом тече оксид карбону (CO_2) під тиском $p = 0,83 \cdot 10^6 \text{ Па}$ за температури $t = 27^{\circ}\text{C}$. Яка швидкість газу, якщо за час $\tau = 2,5 \text{ год}$ через поперечний переріз труби $S = 5 \text{ см}^2$ протікає $m = 2,2 \text{ т}$ газу?

$$\text{(Відповідь: } v = \frac{mRT}{\rho MS\tau} = 2 \frac{\text{м}}{\text{с}})$$

7. Куля об'ємом $V = 0,1 \text{ м}^3$, виготовлена із тонкого паперу. Її заповнюють гарячим повітрям за температури $T_2 = 340 \text{ К}$. Температура зовнішнього повітря $T_1 = 290 \text{ К}$. Тиск повітря p всередині кулі і атмосферний тиск однакові і дорівнюють 100 кПа . За якого значення маси m паперової оболонки куля підніматиметься?

(Відповідь: $m < \frac{M\rho V}{R} \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right) = 17,7\text{г}$)

8. Горизонтально розміщена запаяна з обох кінців скляна трубка розділена стовпчиком ртуті на дві рівні частини. Довжина кожного стовпчика повітря 20см. Тиск 750мм.рт.ст. Якщо трубку розвернути вертикально, ртутний стовпчик опускається на 2см. Визначити довжину стовпчика ртуті?

(Відповідь: 15см)

9. Повітря міститься у відкритій зверху вертикальній циліндричній посудині під поршнем, маса якого $m = 20\text{кг}$, а площа $S = 20\text{см}^2$. Після того, як посудину почали рухати вгору з прискоренням $a = 5\frac{\text{м}}{\text{с}^2}$, висота стовпа повітря між поршнем і дном посудини зменшиться на 20%. Вважаючи температуру сталою, знайти за цими даними атмосферний тиск. Тертям між поршнем і стінками посудини знехтувати.

(Відповідь: $p_a = \frac{m \frac{a(1-k)}{S} g}{k} = 10^5\text{Па}$, де $k = 0,2$)

10. У запаяній з одного кінця скляній трубці довжиною $l = 90\text{см}$ міститься стовпчик повітря, запертий стовпчиком ртуті висотою $h = 30\text{см}$; стовпчик ртуті доходить до верхнього краю трубки. Трубку обережно перевертають відкритим кінцем донизу, при цьому частина ртуті виливається. Яка висота стовпчика ртуті, що залишається у трубці, якщо атмосферний тиск $H = 750\text{мм.рт.ст.}$?

(Відповідь: $x = \frac{1}{2} \left[(H+l) - \sqrt{(H+l)^2 - 4h(H+h-l)} \right] = 3\text{см}$)

11. У запаяній трубці об'ємом $V = 0,4\text{л}$ міститься водяна пара під тиском $p_i = 8,5\text{кПа}$ за температури $T_i = 423\text{К}$. Скільки роси випаде на стінках трубки при охолодженні води до температури $T_{i.н.} = 295\text{К}$? Тиск насиченої водяної пари за температури 295К дорівнює 2,6кПа.

(Відповідь: $m = \frac{M_a V}{p} \left(\frac{p_i}{T_i} - \frac{p_{i.н.}}{T_{i.н.}} \right) \approx 9\text{г}$)

12. Вологе повітря об'ємом 1м^3 за відносної вологості $\phi = 60\%$, температурі $\theta = 293\text{К}$ і нормальному атмосферному тиску має масу $m = 1,2004\text{г}$. Визначити тиск насиченої пари при температурі T .

(Відповідь: $p_{i.н.} = \left[\frac{pVM_a - mRT}{(M_a - M_i)V} \right] \cdot \frac{100\%}{\phi} \approx 2,32\text{кПа}$)

13. Повітря в приміщенні має температуру $t_1 = 24^\circ\text{C}$ і відносну вологість $\phi_1 = 50\%$. Визначити вологість повітря після його охолодження до $t_2 = 20^\circ\text{C}$. Процес охолодження вважати ізохорним. Тиск насиченої водяної пари за температур 20°C і 24°C дорівнює відповідно $p_{i2} = 2330\text{Па}$ і $p_{i1} = 2943\text{Па}$.

(Відповідь: $\phi_2 = \phi_1 \frac{p_{i1}}{p_{i2}} \cdot \frac{T_2}{T_1} = 62\%$)

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ 1

Логіка вивчення рівняння стану ідеального газу і газових законів

І. Підготовка до першої частини заняття

На цьому занятті необхідно розглянути логіку введення двох компонентів змісту шкільного курсу фізики – рівняння стану ідеального газу та ізопроцеси. Ці два компоненти взаємопов'язані, з ними пов'язана найбільша кількість задач, що розв'язуються на уроках фізики з теми "Властивості газів, рідин, твердих тіл".

Розкриваючи структуру циклів навчального процесу, у яких вивчаються зазначені компоненти, етап "Робота з результатом" (розв'язування практичних задач) не описується. Способи розв'язування задач з даних тем є предметом спеціального аналізу на наступних практичних заняттях.

Рівняння стану ідеального газу

1. Пригадати зміст понять: основне рівняння молекулярно-кінетичної теорії, тиск газу, температура, ідеальний газ, рівняння стану ідеального газу [, с. 46, 49-50].

2. Запропонувати способи введення істотних ознак поняття "Рівняння стану газу", розв'язуючи пізнавальні задачі:

- Який зв'язок між фізичними величинами, що характеризують стан газу?
- Як можна на досліді перевірити можливість застосування отриманих рівнянь на практиці для опису фізичних процесів у газах? [, §10].

План проведення першої частини заняття

І. Висування навчальної задачі.

Перед вивченням властивостей газів була поставлена задача: Встановити зв'язок між фізичними величинами тиском, об'ємом, температурою, які характеризують стан газу. Знання цього зв'язку між фізичними величинами – параметрами стану – дозволить описати процеси, що відбуваються в газах.

ІІ. Прогнозування наступної діяльності.

Яким шляхом можна вирішити поставлену задачу?

Раніше було вказано, що цю задачу можна вирішити двома способами – на основі експерименту й теоретично.

Для того щоб вирішити указану задачу теоретично було введено основне рівняння молекулярно-кінетичної теорії газів.

Тому, для вирішення поставленої задачі нам необхідно:

- 1) теоретично отримати зв'язок між параметрами стану газу;
- 2) з'ясувати експериментальне підтвердження отриманого результату.

ІІІ. Введення рівняння стану ідеального газу.

1. Який зв'язок між параметрами стану газу?
2. Як можна на досліді перевірити можливість застосування отриманих рівнянь на практиці для опису фізичних процесів у газах?

(колективний розв'язок пізнавальних задач)

ІV. Систематизація істотних ознак компонента.

– Який зв'язок між параметрами стану газу?

V. Розв'язування навчальної задачі.

Розглянемо один із прикладів застосування рівняння стану ідеального газу.

Зверніть увагу на хід розв'язування задачі.

Задача. Під яким тиском перебуває вуглекислий газ у вогнегаснику об'ємом $V = 2 \text{ л}$, якщо маса вогнегасника до заповнення газом була $m_1 = 4,2 \text{ кг}$, а після заповнення $m_2 = 5,6 \text{ кг}$? Температуру газу вважати рівною $t = 37^\circ\text{C}$. (Задачу розв'язує вчитель)

1. У задачі розглядається стан газу – вуглекислого газу, що міститься у вогнегаснику.

2. Розглядається один стан газу. В умові задачі всі фізичні величини повинні вимірюватися в СІ. Відомий газ, його молярна маса $M = 44 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{моль}}$.

$p = ?$
$V = 2 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$
$m_1 = 4,2 \text{ кг}$
$m_2 = 5,6 \text{ кг}$
$T = (37 + 273) \text{ К}$
$M = 44 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{моль}}$

3. В умові задачі дана маса газу, яка дорівнює $m = m_2 - m_1$.

4. Стан газу описується фізичними величинами: p, V, m, M, T .

5. Рівняння Менделєєва-Клапейрона: $pV = \frac{m}{M} RT$.

6. Додаткова умова $m = m_2 - m_1$.

7. Отже, $pV = \frac{m_2 - m_1}{M} RT$.

Звідси $p = \frac{m_2 - m_1}{M} \frac{RT}{V}$; $p = 4,1 \cdot 10^7 \text{ Па}$.

VI. Робота з результатом.

II. Підготовка до другої частини заняття

Ізопроееси

1. Пригадати: форми запису рівняння стану газу, ізопроееси й газові закони [, с. 50].

2. Запропонувати способи вивчення ізопроеесів у газах, розв'язуючи пізнавальні задачі:

- Якому закону підлягає ізотермічний процес? Як його графічно зобразити?
 - Якому закону підлягає ізобарний процес? Як його графічно зобразити?
 - Якому закону підлягає ізохорний процес? Як його графічно зобразити?
- [, §11]

План проведення другої частини заняття

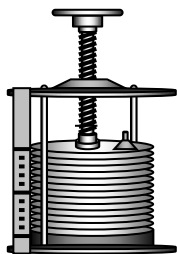
I. Висування навчальної задачі.

Процеси в газі супроводжуються, як правило, зміною всіх параметрів стану – тиску, об'єму, температури. Природно, що найбільш простими є такі процеси, які відбуваються при зміні двох цих параметрів, а третій залишається сталим. Такі процеси отримали назву ізопроеесів (ізо – сталий).

Розв'яжемо задачу:

1. У посудині, об'єм якої може змінюватися і спочатку дорівнює 1л при температурі 27°C знаходиться повітря, тиск якого 10^5 Па . Повільно, щоб не змінилася температура газу, зменшують об'єм вдвічі.

2. Потім посудину нагрівають до 57°C , змінюючи об'єм її так, щоб тиск газу залишався сталим.



3. Нарешті, посудину охолоджують до початкової температури при сталому об'ємі газу.

Визначити значення тиску, об'єму, температури в останньому стані газу. Маса газу в посудині весь час була одна й та сама.

II. Прогнозування наступної діяльності.

Що необхідно з'ясувати для розв'язування даної задачі?

З умови задачі випливає, що в газі послідовно відбуваються три ізопроееси: за сталої температури, за сталого тиску, за сталого об'єму. Маса газу не змінюється. Тому, для того щоб розв'язати задачу необхідно знати закони, яким підлягають ізопроееси й уміти зобразити ці ізопроееси графічно.

– Пригадайте, що ви знаєте про рівняння стану газу?

– Якщо маса газу не змінюється, то в якій формі зручно записати рівняння стану газу, враховуючи перехід газу з одного стану в інший?

Отже, зручно скористатися рівнянням Клапейрона $\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}$.

III. Введення газових законів.

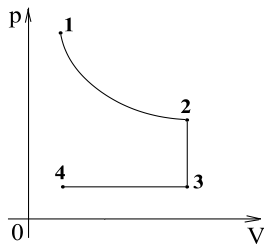
1. Що являє собою процес в газі за сталої температури і якому закону він підлягає?

2. Що являє собою процес в газі за сталого тиску і якому закону він підлягає?

3. Що являє собою процес в газі за сталого об'єму і якому закону він підлягає?

(колективний розв'язок пізнавальних задач)

IV. Систематизація вивченого матеріалу.



Що являє собою кожний з процесів 1 – 2, 2 – 3, 3 – 4?
Яким законам підлягає кожний із цих процесів?

V. Розв'язування навчальної задачі (Задачу розв'язує вчитель).

Повторюється умова навчальної задачі (її доцільно зобразити на плакаті).

Розглянемо кожний процес: запишемо початковий і кінцевий стан газу, газовий закон, знайдемо шукану величину.

Ізотермічний процес.

1 – є п̄дàí	2 – є п̄дàí
$p_0 = 10^5 \text{ Ĭà}$	$p_1 = ?$
$V_0 = 1 \text{ ĩ}$	$V_1 = 0,5V_0$
$T_0 = 300\text{K}$	$T_1 = T_0 = 300\text{K}$

$$p_0 V_0 = p_1 V_1$$

$$p_1 = \frac{p_0 V_0}{V_1} = 2p_0, \quad p_1 = 2 \cdot 10^5 \text{ Ĭà}$$

Ізобарний процес.

1 – є п̄дàí	2 – є п̄дàí
$p_1 = 2 \cdot 10^5 \text{ Ĭà}$	$p_2 = 2 \cdot 10^5 \text{ Ĭà}$
$V_1 = 1 \text{ ĩ}$	$V_2 = ?$
$T_1 = 300\text{K}$	$T_2 = 330\text{K}$

Кінцевий стан попереднього процесу є початковим для даного процесу.

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}, \quad V_2 = V_1 \frac{T_2}{T_1}$$

$$V_2 = 0,5 \frac{330}{300} = 0,55(\text{ë})$$

Ізохорний процес.

Кінцевий стан попереднього процесу є початковим для даного процесу.

1 – é ñðàí	2 – é ñðàí	$\frac{p_2}{T_2} = \frac{p_3}{T_3}, \quad p_3 = p_2 \frac{T_3}{T_2}$
$p_2 = 2 \cdot 10^5 \text{ ĩà}$	$p_3 = ?$	$V_2 = \frac{2 \cdot 10^5 \cdot 300}{330} \approx 1,8 \cdot 10^5 (\text{ĩà})$
$V_2 = 0,55\text{ë}$	$V_3 = V_2$	
$T_2 = 330\text{K}$	$T_3 = T_0$	

Таким чином, у результаті трьох процесів кінцевий стан повітря характеризується параметрами: $p_3 = 1,8 \cdot 10^5 \text{ ĩà}$, $V_3 = 0,55\text{ë}$, $T_3 = 300\text{K}$.

VI. Робота з результатом.

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ 2

Розв'язування задач із застосуванням рівняння Менделєєва-Клапейрона

Підготовка до заняття

1. Пригадати зміст понять: атомна одиниця маси, відносна молекулярна (атомна) маса, кількість речовини, моль, ідеальний газ, рівняння молекулярно-кінетичної теорії газів, рівняння стану газу [, с. 45, 46, 49].

2. Ознайомитися з методичними рекомендаціями щодо розв'язування задач із застосуванням рівняння Менделєєва-Клапейрона.

У загальному випадку при застосуванні даного рівняння доцільно виконувати таку послідовність дій:

1. Прочитати умову задачі, впевнитися, що в ній розглядаються стани газів.
2. З'ясувати скільки станів газів, зокрема, які це гази, присвоїти кожному стану і відповідним фізичним величинам порядкові номери. Коротко записати умову задачі.
3. Зобразити, якщо це можливо, схематичні малюнки.
4. Визначивши, що задача відноситься до типу задач, в основі розв'язування яких лежить рівняння Менделєєва-Клапейрона, вказати для кожного стану газу відповідні фізичні величини, що входять у рівняння.
5. Якщо розглядається декілька станів, то з'ясувати, які фізичні величини мають однакове значення.
6. Для кожного стану газу записати рівняння Менделєєва-Клапейрона.
7. Записати додаткові умови.
8. Розв'язати отриману систему рівнянь.

Поради

1. Ознаками того, що задача відноситься до даного типу, є те, що в умові задачі вказана (незалежно від того чи є ці фізичні величини відомими або шуканими) принаймні одна з таких величин: маса газу, густина, число молів.

2. У залежності від наявності в умові задачі однієї із зазначених величин, рівняння стану газу записується в одній із таких форм:

$$pV = \frac{m}{M}RT, \quad p = \frac{\rho}{M}RT, \quad p = \nu RT.$$

3. У рівнянні стану завжди використовується абсолютна температура. Якщо в задачі розглядається один стан газу, то всі фізичні величини повинні бути виміряні в одиницях СІ. Якщо під час розв'язку задачі передбачається ділення одного рівняння на друге, що описують різні стани газів (газу), то тиск, об'єм, можуть бути виміряні в несистемних, але відповідно однакових, одиницях.

4. Якщо в умові задачі сказано, що газ перебуває в нормальних умовах, то це означає: тиск газу дорівнює нормальному атмосферному тиску ($p = 760 \text{ мм.рт.ст.}$), температура $T = 273 \text{ К}$ (0°C).

5. Якщо в умові задачі розглядається суміш газів, то рівняння стану записується для кожного газу окремо, а зв'язок між тисками кожного газу суміші (парціальними тисками) $p_1, p_2 \dots p_n$ і результуючим тиском p встановлюється законом Дальтона: $p = p_1 + p_2 + \dots + p_n$.

6. Часто в задачах розглядаються гази, що перебувають у посудині й розділені поршнем, який може рухатися без тертя. У даному випадку поршень нерухомий за умови рівності тисків газів на нього з обох боків – якщо посудина розміщена горизонтально. Якщо посудина розміщена вертикально, то тиск газу під поршнем дорівнюватиме сумі тиску газу, що міститься над поршнем, і тиску поршня на цей газ. Це і є умова рівноваги поршня у такій посудині.

7. Іноді треба враховувати довжину стовпа повітря. Якщо переріз посудини не змінний $S = \text{const}$, $V = lS$.

У комбінованих задачах поряд з рівнянням стану використовуються формули і закони механіки, та молекулярно-кінетичної теорії. Так, масу молекули можна визначити з формул: $m_0 = \frac{m}{N} = \frac{m}{\nu N_A} = \frac{M}{N_A}$, де N – число молекул в газі масою m , ν – число молів, M – молярна маса, N_A – число Авогадро.

3. Ознайомитися з методами розв'язування окремих типів задач.

Задача. Визначити густину ідеального газу за температури 100°C і тиску $p = 10^5 \text{ Па}$, а також масу однієї молекули цього газу, якщо відомо, що молярна маса газу $M = 32 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{моль}}$.

1. Як видно з умови задачі, у ній розглядається стан ідеального газу.

2. Розглядається один стан газу.

$\rho - ?$ $m_0 - ?$ $T = (100 + 273) \text{ К}$ $p = 10^5 \text{ Па}$ $M = 32 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{моль}}$	<p>3. В умові задачі невідомою є густина газу.</p> <p>4. Стан газу описується фізичними величинами: p, ρ, M, T.</p> <p>5. Рівняння стану: $p = \frac{\rho}{M}RT$.</p> <p>6. Додатковою умовою є: $m_0 = \frac{M}{N_A}$.</p>
---	---

7. Отже, $\rho = \frac{pM}{RT}$, $\rho = 1,03 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$, $m_0 = 5,4 \cdot 10^{-26} \text{ кг}$.

R – універсальна газова стала, N_A – число Авогадро відомі: $R = 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$,

$$N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}.$$

Задача. Посуд ємністю $2V = 2 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$ розділений навпіл напівпроникною перегородкою. В одну половину посудини введено водень масою $m_a = 2 \text{ г}$ і азот масою $m_a = 28 \text{ г}$, у другій половині вакуум. Через перегородку може дифундувати тільки водень. Під час процесу підтримується температура $T = 373 \text{ К}$. Який тиск встановиться в обох частинах посудини?

1. У задачі розглядаються стани газів – водню й азоту.

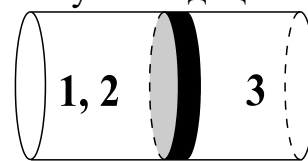
2. Розглядаються три стани: 1) стан азоту; 2) стан водню, який залишився після дифузії в першій половині посудини; 3) стан водню, який після дифузії міститься в другій половині посудини.

Відомо, які гази містяться у посудині, отже, можна визначити їх молярні маси. У вільному стані молекули азоту і водню містять не один, а два атоми, тому для

$$\text{азоту } M_1 = 28 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{моль}}, \text{ для водню } M_2 = 2 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{моль}}.$$

$p_0 = ?$	$p_2 = ?$
$2V = 2 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$	
$V_1 = V_2 = V$	
$m_a = 2 \cdot 10^{-3} \text{ кг}$	
$m_a = 28 \cdot 10^{-3} \text{ кг}$	
$T = 373 \text{ К}$	
$M_a = 28 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{моль}}$	
$M_a = 2 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{моль}}$	

3. Посуд зобразимо у вигляді циліндру



4. Стани газів у відповідній нумерації характеризуються фізичними величинами:

$$p_1, V_1, m_1, M_1, T_1$$

$$p_2, V_2, m_2, M_2, T_2$$

$$p_3, V_3, m_3, M_3, T_3$$

5. Посудина поділена перегородкою навпіл, тому кожний газ займає однакові об'єми: $V_1 = V_2 = V_3 = V$. Водень дифундує з першої половини посудини у другу, доки його тиски в обох частинах посудини не зрівняються: $p_2 = p_3$. Температура газів однакова: $T_1 = T_2 = T_3 = T$. Враховуючи, що перегородка поділяє посудину на рівні об'єми і температура в них однакова, у другу половину посудини продифундує половина початкової кількості водню: $m_2 = m_3 = \frac{1}{2} m_a$, $M_2 = M_3 = M_a$.

Отже, треба розглядати тільки два стани газів – азоту і водню, що містяться в першій половині посудини, адже параметри стану водню в обох частинах посудини однакові.

6. Запишемо рівняння Менделєєва-Клапейрона:

$$\text{для азоту } p_1 V = \frac{m_a}{M_a} RT, \text{ для водню } p_2 V = \frac{m_a}{2M_a} RT.$$

7. У першій половині посудини є суміш двох газів – азоту і водню, тому тиск в ній, згідно закону Дальтона, дорівнює $p_0 = p_1 + p_2$.

8. Розв'язуючи систему рівнянь отримаємо:

$$p_2 = \frac{m_a}{2M_a} \cdot \frac{RT}{V}, \quad p_2 \approx 150 \text{ Па} . \quad p_0 = \left(\frac{m_a}{2M_a} + \frac{m_a}{M_a} \right) \cdot \frac{RT}{V}, \quad p_0 \approx 460 \text{ Па} .$$

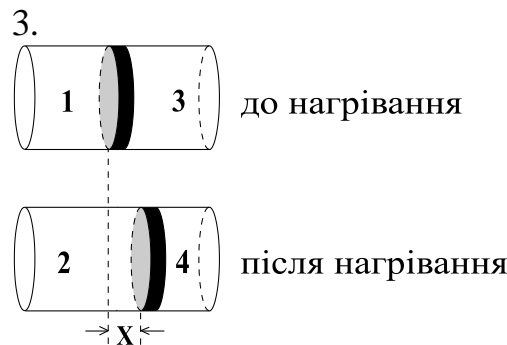
Задача. Циліндр поділений на дві частини поршнем. В одній частині міститься азот, а в другій – повітря. Температури газів однакові й дорівнюють $T_0 = 300\text{K}$. Співвідношення їхніх мас таке, що поршень ділить циліндр на дві рівні частини, об'єм кожної частини становить $V_0 = 1,3\text{л}$. На яку відстань зміститься поршень, якщо температура газу в одній з половин циліндру збільшиться на $\Delta T = 50\text{K}$, а в другій залишиться незмінною? Площа перерізу циліндру $S = 100\text{см}^2$.

1. Згідно умови задачі розглядаються стани газів – азоту і повітря.

2. Розглядаються чотири стани газів: 1) початковий стан азоту; 2) кінцевий стан азоту; 3) початковий стан повітря; 4) кінцевий стан повітря.

Відомо які гази містяться в посудині, отже, відомі їх молярні маси: для азоту $M_a = 14 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{моль}}$, для повітря $M_i = 29 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{моль}}$.

$x = ?$
$T_0 = 300\text{K}$
$V_0 = 1,3\text{л} = 1,3 \cdot 10^{-3} \text{м}^3$
$\Delta T = 50\text{K}$
$M_a = 14 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{моль}}$
$M_i = 29 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{моль}}$



4. Стани газів у відповідній нумерації характеризуються

фізичними величинами:

$$p_1, V_1, m_1, M_1, T_1$$

$$p_2, V_2, m_2, M_2, T_2$$

$$p_3, V_3, m_3, M_3, T_3$$

$$p_4, V_4, m_4, M_4, T_4$$

5. Згідно умови задачі: $m_1 = m_2 = m_a$, $M_1 = M_2 = M_a$, $m_3 = m_4 = m_i$, $M_3 = M_4 = M_i$; $p_1 = p_3$, $p_2 = p_4$ (поршень не рухається); $T_1 = T_3 = T_0$, $T_2 = T_0 + \Delta T$, $T_4 = T_0$; $V_1 = V_2 = V_0$, $V_3 = V_0 + \Delta V$, $V_4 = V_0 - \Delta V$.

6. Рівняння Менделєєва-Клапейрона для кожного стану газу, враховуючи однаковість значень відповідних величин, матиме вигляд.

$$\text{Для стану 1: } p_1 V_0 = \frac{m_a}{M_a} RT_0 .$$

$$\text{Для стану 2: } p_2 V_0 = \frac{m_i}{M_i} RT_0 .$$

$$\text{Для стану 3: } p_2 (V_0 + \Delta V) = \frac{m_a}{M_a} R(T_0 + \Delta T)$$

$$\text{Для стану 4: } p_2 (V_0 - \Delta V) = \frac{m_i}{M_i} RT_0 .$$

7. Додаткова умова: $\Delta V = S \cdot x$.

8. З перших двох рівнянь випливає: $\frac{m_a}{M_a} = \frac{m_i}{M_i}$, отже з двох останніх рівнянь:

$$\frac{V_0 + \Delta V}{V_0 - \Delta V} = \frac{T_0 + \Delta T}{T_0} \cdot \Delta V = \frac{\Delta T V_0}{2T_0 + \Delta T}, \quad x = \frac{\Delta T}{2T_0 + \Delta T} \cdot \frac{V_0}{S}, \quad x = 1 \text{ м}.$$

Задача. У кімнаті затопили піч і температура піднялася з $t_1 = 16^\circ\text{C}$ до $t_2 = 21^\circ\text{C}$. Тиск повітря в кімнаті при цьому не змінився. Яка частина повітря вийшла з кімнати?

1. Згідно умови, в задачі розглядаються два стани газу (повітря): до і після нагрівання.

2. Треба визначити частину повітря, що вийшла з кімнати: $\frac{m_1 - m_2}{m_1}$, де m_1 –

початкова маса газу в кімнаті, m_2 – кінцева.

$\frac{m_1 - m_2}{m_1} - ?$	Стан газу до нагрівання описується фізичними величинами: p_1, V_1, m_1, M_1, T_1 , а після нагрівання p_2, V_2, m_2, M_2, T_2 .
$T_1 = (16 + 273)\text{K}$	Розглядається один і той самий газ (повітря): $M_1 = M_2 = M$.
$T_2 = (21 + 273)\text{K}$	Саме той газ, який до і після нагрівання міститься в кімнаті, має об'єм $V_1 = V_2 = V$. Тиск газу в кімнаті не змінюється: $p_1 = p_2 = p$.

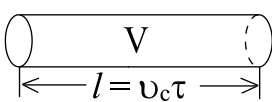
Рівняння стану до і після нагрівання газу мають вигляд: $pV = \frac{m_1}{M} RT_1$ і

$$pV = \frac{m_2}{M} RT_2. \text{ Звідси випливає: } m_1 = \frac{pVM}{R} T_1, \quad m_2 = \frac{pVM}{R} T_2, \text{ отже } \frac{m_1 - m_2}{m_1} = \frac{T_2 - T_1}{T_2} = 1 - \frac{T_1}{T_2}.$$

Задача. По горизонтальній трубі йде вуглекислий газ під тиском $p = 392 \text{ Па}$ за температури 280K . Яка середня швидкість руху газу у трубі, якщо через поперечний переріз труби, що дорівнює 5cm^2 , за $\tau = 10 \text{ с}$ протікає газ масою 20kg ?

1. У задачі розглядається один стан газу.

2. Газ рівномірно рухається, отже який би шар газу ми не вибрали у рухомому потоці, його параметри повинні задовольняти рівнянню Менделєєва-Клапейрона.

$v_c - ?$	3. Виділимо у трубі деякий об'єм V , в якому міститься газ масою m .
$p = 392 \cdot 10^3 \text{ Па}$	
$T = 280\text{K}$	
$S = 5 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$	4. Стан газу характеризується параметрами: $p, V = l \cdot S = v_c \tau S, m, M, T$.
$\tau = 600\text{c}$	5. Рівняння стану газу: $p v_c \tau S = \frac{m}{M} RT$.
$m = 20 \text{ кг}$	6. Звідси: $v_c = \frac{mRT}{MpS\tau}, \quad v_c \approx 9 \frac{\text{м}}{\text{с}}$.
$M = 44 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{моль}}$	

Задача. Скільки гелію потрібно для наповнення повітряної кулі діаметром $d = 10 \text{ м}$, щоб куля змогла підняти вантаж вагою $P = 9,8\text{kN}$ за нормального атмосферного тиску й температури 290K ? Об'ємом вантажу знехтувати.

1. Для підйому повітряної кулі потрібно, щоб виштовхувальна сила була більшою або дорівнювала вазі газу, що наповнює оболонку кулі, і вазі P вантажу.

При цьому, виштовхувальна сила дорівнює вазі повітря, витісненого кулею $P_{\text{п}}$: $P_{\text{п}} \geq P_{\text{а}} + P$ або $m_{\text{п}}g \geq m_{\text{а}}g + P$, де $m_{\text{п}}$ – маса повітря, виштовхнутого кулею, $m_{\text{а}}$ – маса газу (гелію), який наповнює оболонку кулі.

Якби була відома маса повітря $m_{\text{п}}$, то можна було б визначити масу гелію.

Отже, у задачі розглядається стан газу (повітря), виштовхнутого кулею.

2. Молярна маса повітря відома.

$$\begin{array}{l} m_{\text{а}} - ? \\ d = 10 \text{і} \\ P = 9,8 \cdot 10^3 \text{і} \\ p_0 = 10^5 \text{і} \\ T = 290 \text{К} \\ M_{\text{п}} = 29 \cdot 10^{-3} \frac{\text{і}}{\text{іііі}} \end{array}$$

3. Стан повітря описується фізичними величинами:

$$p, V = \frac{\pi d^3}{6}, m_{\text{п}}, M_{\text{п}}, T.$$

$$4. \text{Рівняння стану газу: } p_0 \frac{\pi d^3}{6} = \frac{m_{\text{п}}}{M_{\text{п}}} RT, \quad m_{\text{п}} = \frac{M_{\text{п}} p_0 \pi d^3}{6RT}.$$

$$\text{Отже, } m_{\text{а}} = \frac{M_{\text{п}} p_0 \pi d^3}{6RT} - \frac{P}{g}, \quad m_{\text{а}} = 530 \text{іііі}.$$

4. Самостійно розв'язати задачі:

1. Стальний балон заповнено азотом за температури $t = 12^\circ\text{C}$, тиск азоту $p = 1,5 \cdot 10^6 \text{і} \text{і}$. Визначити густину азоту за цих умов. За якої температури тиск зростає до $p_1 = 1,8 \cdot 10^6 \text{і} \text{і}$? Розширенням стінок балону знехтувати.

$$(\text{Відповідь: } \rho = \frac{pM}{RT}, \quad \rho = 180 \frac{\text{іііі}}{\text{і}^3}, \quad T_1 = \frac{p_1}{p_2} T, \quad T_1 = 342 \text{К})$$

2. У балоні міститься 2кг газу за температури 270К. Скільки газу треба випустити з балону, щоб за температури 300К тиск залишився попереднім?

$$(\text{Відповідь: } \Delta m = m \left(1 - \frac{T_1}{T_2} \right), \quad \Delta m = 0,2 \text{іііі})$$

3. У балоні ємністю $V = 110 \text{і}$ перебуває $m_1 = 0,8 \text{іі}$ водню і $m_2 = 1,6 \text{іі}$ кисню. Визначити тиск суміші на стінки посудини, якщо температура навколишнього середовища $t = 27^\circ\text{C}$.

(Відповідь: $p = p_1 + p_2 = \frac{p_0 V_0 T}{T_0 V} (n_1 + n_2)$, де n_1 і n_2 – число молів відповідно кисню і водню)

План заняття

I. Перевірка знання студентами понять: атомна одиниця маси, відносна молекулярна (атомна) маса, кількість речовини, моль, ідеальний газ, рівняння молекулярно-кінетичної теорії газів, рівняння стану газу.

II. Колективний аналіз логіки розв'язування однієї з домашніх задач.

III. Розв'язування задач:

1. Три однакові посудини, з'єднані теплоізоляційними трубками, заповнені певною кількістю гелію за температури $T_1 = 10 \text{К}$. Потім одну з посудин нагріли до $T_2 = 40 \text{К}$, а другу – до $T_3 = 100 \text{К}$. Температура третьої посудини залишалася незмінною. У скільки разів змінився тиск у системі?

$$(\text{Відповідь: } \frac{p_2}{p_1} = \frac{3}{1 + \frac{T_1}{T_2} + \frac{T_1}{T_3}}, \quad \frac{p_2}{p_1} \approx 2,2)$$

2. Надувну кульку, заповнену гелієм, утримують на нитці. Визначити натяг нитки, якщо маса оболонки кульки $m = 2\text{г}$, об'єм $V = 3\text{л}$, тиск гелію $p = 1,04 \cdot 10^5 \text{Па}$, температура $t = 27^\circ\text{C}$, густина повітря $\rho = 1,3 \frac{\text{г}}{\text{л}}$.

$$\text{(Відповідь: } F_t = \rho g V - \left(m + \frac{M p V}{R T} \right) g \text{)}$$

3. У початковому стані тиск кисню масою 3,20т був 83кПа. При збільшенні температури на 100К об'єм кисню зріс на 50м³ і тиск став 9966кПа. Знайти початковий об'єм і температуру газу.

(Відповідь: 200л, -73⁰С)

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ 3

Розв'язування задач із застосуванням рівняння Клапейрона і газових законів

Підготовка до заняття

1. Пригадати зміст понять: рівняння Клапейрона, закон Бойля-Маріотта, закон Гей-Люссака, закон Шарля [, с. 49-50].

2. Ознайомитися з методичними рекомендаціями щодо розв'язування задач із застосуванням рівняння Клапейрона і газових законів.

Основним рівнянням, яке характеризує стан ідеального газу, є рівняння Менделєєва-Клапейрона. Склавши це рівняння для кожного стану газу, що розглядаються, і, записавши додаткові умови у вигляді формул, можна відносно легко розв'язати будь-яку задачу, зокрема, не тільки ті, які розглядалися на попередньому занятті, а й ті, що розглядатимуться. Але цей метод у ряді випадків ускладнює розв'язування і приводить до зайвих математичних викладок, які мало пояснюють фізичну сутність явищ. У даних випадках раціональніше застосовувати рівняння Клапейрона і газові закони, які легко отримати з цього рівняння, поклавши один із параметрів незмінним.

Якщо за умовою задачі даються два стани газу і при переході газу з одного стану в інший його маса не змінюється, то доцільно виконати таку послідовність дій:

1. Прочитавши умову задачі, треба з'ясувати, який газ приймає участь у тому чи іншому процесі, і впевнитися, що при зміні параметрів стану газу його маса залишається сталою.

2. З'ясувати скільки процесів, пов'язаних зі зміною стану двох або трьох газів, відділених один від одного поршнями, або тих, що входять до суміші, розглядаються в умові задачі. Коротко записати умову задачі.

3. Зробити, якщо це можливо, схематичний малюнок, для початкового і наступного стану газів.

4. Указати параметри p , V , T , які характеризують початковий стан газу.

5. Визначити з умови задачі, який із цих трьох параметрів не змінюється, тобто визначити процес.

6. Записати рівняння Клапейрона для даних двох станів кожного газу. Якщо деякий параметр залишається незмінним, рівняння автоматично переходить в од-

не з трьох рівнянь, які виражають закон Бойля-Маріотта, Гей-Люссака, Шарля.

7. Представити в розгорнутому вигляді параметри p_1, V_1, p_2, V_2 , виразивши їх через задані величини.

8. Записати додаткові умови й розв'язати отриману систему рівнянь відносно невідомих величин.

Поради

1. У тих випадках, коли газ міститься в циліндричному посуді й об'єм газу змінюється тільки за рахунок зміни висоти (довжини) його стовпа, але не перерізу посудини, рівняння Клапейрона треба відразу записати у вигляді: $\frac{p_1 l_1}{T_1} = \frac{p_2 l_2}{T_2}$.

2. Температура обов'язково повинна вимірюватися в Кельвінах.

3. У тих випадках, у яких газ чинить тиск на рідину, часто приходиться використовувати закон Паскаля: провести нульовий рівень через межу, що відділяє газ від рідини, і записати рівняння рівноваги рідини.

4. Якщо в задачі рідиною є ртуть, то тиск можна виражати в см.рт.ст. або мм.рт.ст., враховуючи, що у відповідних одиницях виражається довжина (висота) стовпа газу.

5. Тиск стовпа рідини визначається за формулою $p = \rho gh$, де ρ – густина рідини, h – висота (глибина) стовпа рідини.

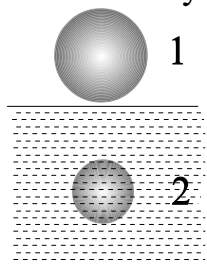
3. Ознайомитися з методами розв'язування окремих типів задач.

Задача. Гумову камеру накачали на березі до нормального тиску. На яку глибину треба опустити камеру у воду, щоб її об'єм зменшився вдвічі? Температура повітря $T_1 = 300\text{K}$, температура води $T_2 = 277\text{K}$.

1. Повітря в камері, незалежно від того де знаходиться камера, має одну й ту саму масу.

2. Розглядається один процес переходу повітря з одного стану в інший. У першому стані тиск газу дорівнює нормальному атмосферному тиску.

$$\begin{array}{l} h - ? \\ V_2 = \frac{1}{2} V_1 \\ T_1 = 300\text{K} \\ T_2 = 277\text{K} \\ p_1 = 10^5 \text{Па} \end{array}$$



3. 4. Параметри 1-го стану газу: p_1, V_1, T_1 .
Параметри 2-го стану газу: p_2, V_2, T_2 .

5. Змінюються всі параметри стану.

$$6. \frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}.$$

$$7. p_2 = p_1 + \rho gh.$$

$$\text{Отже, } \frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{(p_1 + \rho gh) V_2}{T_2}, \quad h = \frac{p_1}{\rho g} \left(2 \frac{T_2}{T_1} - 1 \right), \quad h \approx 8,71.$$

Задача. Посередині відкачаної й запаяної з обох кінців горизонтальної трубки міститься стовпчик ртуті довжиною $h = 19,6\text{мм}$. Якщо трубку поставити під кутом $\alpha = 30^\circ$ до горизонту, то стовпчик ртуті зміститься на $\Delta l_1 = 20\text{мм}$; якщо поставити вертикально – на $\Delta l_2 = 30\text{мм}$. До якого тиску відкачано повітря з трубки.

1. Маса повітря, яке міститься з обох боків від ртутного стовпчика, залишається сталою.

2. Розглядаються чотири процеси: повітря, що міститься ліворуч від стовпчика ртуті, змінює свій стан при нахилі трубки, а потім при розміщенні трубки верти-

кально; аналогічно два процеси відбуваються з повітрям, що міститься праворуч від стовпчика ртуті. Довжина кожного стовпа повітря при горизонтальному положенні трубки дорівнює $l_1 = l_2$.

$$p = ?$$

$$l_1 = l_2 = \frac{1}{2}(l - h)$$

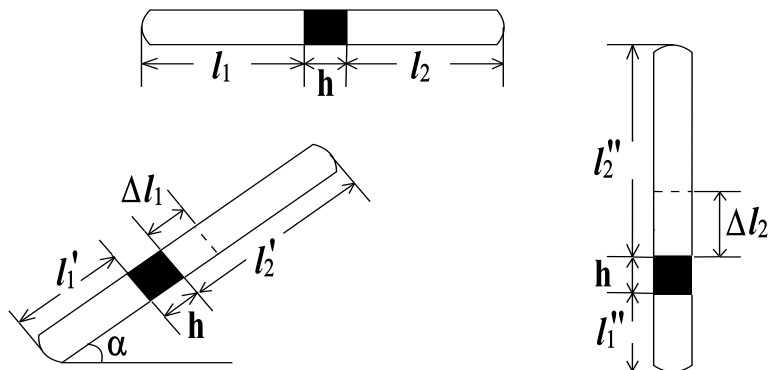
$$h = 19,6 \text{ см}$$

$$\alpha = 30^\circ$$

$$\Delta l_1 = 20 \text{ см}$$

$$\Delta l_2 = 30 \text{ см}$$

3.



4. Параметри станів повітря, що міститься ліворуч від стовпчика ртуті:
 $p, l_1, T_1; p'_1, l'_1, T_2; p''_1, l''_1, T_3$.

Параметри станів повітря, що міститься праворуч від стовпчика ртуті:
 $p, l_2, T_1; p'_2, l'_2, T_2; p''_2, l''_2, T_3$.

5. Температура повітря не змінювалася. Отже, всі процеси ізотермічні:
 $T_1 = T_2 = T_3$.

6. Для всіх процесів виконується закон Бойля-Маріотта:

$$p l_1 = p'_1 l'_1; p l_1 = p''_1 l''_1 \text{ – для повітря ліворуч.}$$

$$p l_2 = p'_2 l'_2; p l_2 = p''_2 l''_2 \text{ – для повітря праворуч.}$$

Враховано, що в горизонтальній трубці тиск повітря з обох сторін від ртуті однаковий і дорівнює p , однакові висоти стовпів повітря $l_1 = l_2$.

Записали закон Бойля-Маріотта для 1-го і 2-го, для 1-го і 3-го станів.

7. Як видно з малюнків:

$$l'_1 = l_1 - \Delta l_1; l''_1 = l_1 - \Delta l_2$$

$$l'_2 = l_1 + \Delta l_1; l''_2 = l_1 + \Delta l_2$$

Крім того, при рівновазі стовпчика ртуті:

$$p'_1 = p'_2 + \rho g h \sin \alpha, \quad p''_1 = p''_2 + \rho g h, \quad \text{де } \rho \text{ – густина ртуті.}$$

$$8. \quad p l_1 = (p'_2 + \rho g h \sin \alpha)(l_1 - \Delta l_1)$$

$$p l_1 = (p''_2 + \rho g h)(l_1 - \Delta l_2)$$

$$p l_1 = p'_2(l_1 + \Delta l_1); \quad p l_1 = p''_2(l_1 + \Delta l_2)$$

Розв'яжемо отримані рівняння відносно p , знайдемо:

$$p = \frac{\rho g h}{2} \left[\sqrt{\frac{\Delta l_1(\Delta l_2 - \Delta l_1 \sin \alpha)}{\Delta l_2(\Delta l_1 - \Delta l_2 \sin \alpha)}} - \sqrt{\frac{\Delta l_2(\Delta l_1 - \Delta l_2 \sin \alpha)}{\Delta l_1(\Delta l_2 - \Delta l_1 \sin \alpha)}} \right], \quad p \cong 6 \text{ см рт.ст.}$$

Задача. У скляну манометричну трубку, запаяну з одного кінця, налили ртуть. Висота стовпчика повітря в запаяному коліні дорівнює $2H$, причому рівень ртуті у відкритому коліні стоїть на H вище, ніж у закритому. Манометр встановлено у ракеті, яка починає підніматися вертикально вгору з прискоренням $a = g$. Якою буде різниця рівнів ртуті в колінах манометра під час підйому ракети, якщо в кабіні ракети підтримується нормальний атмосферний тиск?

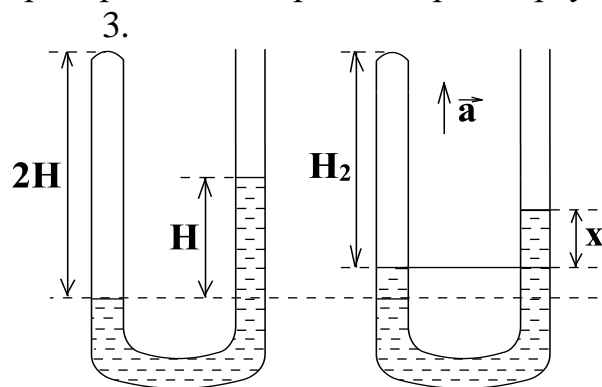
Під час руху тіл вертикально вгору з прискоренням, на ці тіла з боку опори діє сила нормального тиску, яка надає їм прискорення, модуль якого дорівнює

$(g + a)$. Така ж сама за модулем, але протилежна за напрямком сила діє на опору. Ефект отримується такий, нібито прискорення вільного падіння \bar{g} зросло на величину \bar{a} . У результаті вага тіл у рухомій системі зростає і становить не ρgV , а $\rho(g + a)V$.

Аналогічне явище відбувається й під час підйому манометра в ракеті. Перед стартом ракети повітря в закритому коліні манометра стиснуте до такого ступеня, що зрівноважувало атмосферний тиск і тиск стовпчика ртуті у відкритому коліні. Як тільки ракета почне підніматися вгору з прискоренням \bar{a} , тиск стовпа ртуті (який розміщено над рівнем ртуті у закритому коліні) зростає, ртуть почне переливатися у закрите коліно стискуючи повітря, що там міститься. Різниця рівнів ртуті буде зменшуватися доти, поки пружність повітря не досягне значення, необхідного для рівноваги.

1. Маса повітря в закритому коліні манометра при зміні його стану не змінюється.

2. Розглядається один процес зміни стану повітря в закритому коліні манометра. Треба знайти різницю рівнів ртуті в колінах манометра при підйомі ракети.



4. Параметри станів повітря:

$p_1, 2H, T_1$ – в нерухомій ракеті;

p_2, H_2, T_2 – в рухомій ракеті.

5. Температура не змінюється $T_1 = T_2$.

6. Закон Бойля-Маріотта: $p_1 2H = p_2 H_2$.

7. $p_1 = p_a + \rho gH$ – тиск повітря у закритому коліні манометра дорівнює сумі атмосферного тиску p_a і тиску стовпа ртуті

висотою H .

$p_2 = p_a + \rho(g + a)x$, де $\rho(g + a)x$ – тиск стовпа ртуті, який підніметься вгору з прискоренням \bar{a} , x – різниця рівнів ртуті у колінах манометра під час руху ракети.

$$H_2 = 2H - \frac{H - x}{2}.$$

$$8. (p_a + \rho gH)2H = [p_a + \rho(g + a)x] \left(2H - \frac{H - x}{2} \right)$$

$$x = \frac{\sqrt{17H^2 + 2HH_0} - 34}{2}.$$

Задача. У циліндрі, площа основи якого дорівнює $S = 100\text{ м}^2$, міститься повітря за температури $t_1 = 12^\circ\text{C}$. Атмосферний тиск $p_1 = 76\text{ мм. рт.ст.}$. На висоті $h_1 = 60\text{ м}$ від основи циліндра розміщено поршень. На скільки опуститься поршень, якщо на нього поставити гирю масою $m = 100\text{ т}$, а повітря при цьому нагріти до $t_2 = 27^\circ\text{C}$? Тертя поршня об стінки циліндра і вагу самого поршня не враховувати.

1. Маса повітря у циліндрі не змінюється.

2. Розглядається один процес – зміна об'єму повітря.

3. Запишемо коротку умову і зробимо малюнок.

$$\Delta h = ?$$

$$S = 100 \text{ см}^2$$

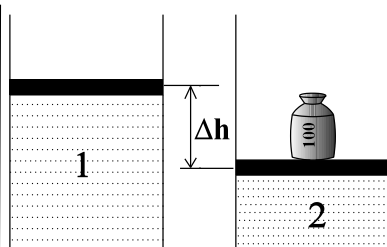
$$T_1 = (12 + 273) \text{ К}$$

$$p_1 = 76 \text{ мм рт.ст.}$$

$$h_1 = 60 \text{ см}$$

$$m = 100 \text{ кг}$$

$$T_2 = (27 + 273) \text{ К}$$



$$\frac{h_1}{h_2} = \frac{p_2 T_1}{p_1 T_2}$$

Утворимо похідну пропорцію: $\frac{h_1 - h_2}{h_1} = \frac{p_2 T_1 - p_1 T_2}{p_2 T_1}$

$$\Delta h = h_1 - h_2 = h_1 \left(1 - \frac{p_1 T_2}{p_2 T_1} \right), \quad \Delta h = 27 \text{ см}$$

4. Самостійно розв'язати задачі:

1. Газ міститься в циліндрі під невагомим поршнем, площа якого дорівнює 100 см^2 . За температури 7°C на поршень поклали гирю масою 10 кг , внаслідок чого поршень трохи опустився. До якої температури треба нагріти газ у циліндрі, щоб поршень піднявся до попередньої висоти? Атмосферний тиск нормальний.

$$\text{(Відповідь: } T = T_0 \left(1 + \frac{mg}{p_0 S} \right), \quad T \approx 308 \text{ К)}$$

2. Закритий циліндричний поршень висотою h розділений на дві рівні частини невагомим поршнем, який ковзає без тертя. При застопореному поршні обидві половини заповнено газом, причому в одній із них тиск в n разів більший, ніж у другій. На скільки пересунеться поршень, якщо знати стопор?

$$\text{(Відповідь: } x = \frac{(n-1)h}{2(n+1)})$$

План заняття

- I. Перевірка знання студентами рівнянь стану газу, газових законів.
- II. Колективний аналіз логіки розв'язування однієї з домашніх задач.
- III. Розв'язування задач:

1. Відкриту з обох сторін скляну трубку довжиною 60 см занурюють у посуд зі ртуттю на $1/3$ довжини. Потім, закривши верхній кінець трубки, виймають її зі ртуті. Якої довжини стовпчик ртуті залишиться в трубці? Атмосферний тиск 76 см.рт.ст.

$$\text{(Відповідь: } 12,3 \text{ см)}$$

2. У фляжці, ємність якої $0,5 \text{ л}$, міститься $0,3 \text{ л}$ води. Турист п'є з неї воду, щільно притиснувши губи до горличка так, що у фляжку не потрапляє ззовні повітря. Скільки води вдасться випити туристу, якщо він зможе понизити тиск повітря, що залишається у фляжці, до 80 кПа ?

$$\text{(Відповідь: } 50 \text{ см}^3)$$

3. Коли газ, об'єм якого залишається незмінним, нагріли на $\Delta T = 30 \text{ К}$, його тиск підвищився на 10% . Яка початкова температура газу?

$$\text{(Відповідь: } 300 \text{ К)}$$

4. Параметри стану 1: p_1, h_1, T_1 .

Параметри стану 2: p_2, h_2, T_2 .

5. Змінюються всі параметри стану.

$$6. \frac{p_1 h_1}{T_1} = \frac{p_2 h_2}{T_2}$$

$$7. p_2 = p_1 + \frac{mg}{S}$$

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ 4

Розв'язування задач на властивості пари

Підготовка до заняття

1. Пригадати зміст понять: насичена й ненасичена пара, вологість повітря [, с. 51, 53-54].

2. Ознайомитися з методичними рекомендаціями щодо розв'язування задач на властивості пари.

Задачі на властивості пари, зокрема, вологість повітря, за своїм розв'язуванням принципово майже не відрізняються від задач на ідеальні гази. Рівняння Клапейрона, Менделєєва-Клапейрона, газові закони застосовуються до ненасиченої пари. До насиченої пари застосовується тільки рівняння Менделєєва-Клапейрона. Тому при застосуванні зазначених рівнянь і законів доцільно дотримуватися наведених раніше рекомендацій.

Водночас необхідно враховувати й особливості пари:

1. За наявності в закритій посудині рідини та її пари збільшення маси пари за рахунок випаровування рідини відбуватиметься доки пара не стане насиченою. При цьому рідина може повністю або частково перетворитися на пару. Можливий і такий випадок, коли при повному випаровуванні рідини пара залишиться ненасиченою. Для того щоб переконатися в тому, що пара насичена, треба визначити її тиск (густину) і отримане значення порівняти з тим, яке вказане в таблиці значень тиску (густини) насиченої водяної пари за різних температур.

2. Ненасичену пару можна перетворити на насичену двома шляхами: зниженням температури й стисканням пари за даної температури. У результаті цих двох процесів може статися, що густина пари більша за густину насиченої пари за даної температури. У такому випадку частина пари конденсується до тих пір, доки значення тиску (густини) не відповідатиме відповідним значенням насиченої пари.

3. Якщо задана температура насиченої пари, то її тиск і густину можна знайти в таблиці.

4. Відносна вологість за даних умов визначається через відношення тиску (густини) наявної пари до тиску (густини) насиченої пари за даної температури:

$$\varphi = \frac{p}{p_H} \cdot 100\% = \frac{\rho}{\rho_H} \cdot 100\% .$$

Виходячи із цієї формули і таблиці значень тисків і густин насиченої водяної пари за різних температур, можна виконати такі системи дій:

1. Відомі температура й відносна вологість повітря. Щоб знайти тиск (густину) наявної пари, з таблиці визначають тиск (густину) насиченої пари за даної температури, а потім використовують формули: $p = p_H \cdot \varphi$, $\rho = \rho_H \cdot \varphi$. Якщо φ вказано у відсотках, то треба брати не φ , а $\frac{\varphi}{100\%}$.

2. Відомі відносна вологість і тиск (густина) наявної пари. Щоб знайти точку роси – температуру, за якої дана пара стає насиченою, обчислюють значення

тиску (густини) за формулою $\rho_H = \frac{p}{\phi} \cdot 100\% \left(\rho_H = \frac{p}{\phi} \cdot 100\% \right)$. Знаючи це значення, з таблиці визначають відповідну температуру. Це допоможе з'ясувати можливість появи інею, роси, туману.

3. Відомі точка роси і тиск (густина) наявної пари. Щоб визначити відносну вологість, спочатку з таблиці знаходять значення тиску (густини) насиченої пари, а потім обчислюють шукану величину.

4. Іноді треба розглядати "вологе" повітря – суміш водяної пари й "сухого" повітря. У такому випадку тиск "вологого" повітря $p = p_1 + p_2$, де p_1 – тиск пари, p_2 – тиск "сухого" повітря.

Густина вологого повітря $\rho = \frac{m_1 + m_2}{V} = \rho_1 + \rho_2$, де m_1 і ρ_1 – маса і густина пари, m_2 і ρ_2 – маса і густина "сухого" повітря.

3. Ознайомитися з методами розв'язування окремих типів задач.

Задача. У закритому з обох кінців циліндрі об'ємом $V = 2$ л вільно переміщується невагомий і тонкий поршень. У циліндр з одного боку, від поршня вводиться $m_1 = 2$ г води, з іншого – $m_2 = 1$ г азоту. На якій частині довжини циліндру встановиться поршень при $t = 100^\circ\text{C}$?

Припустимо, що внаслідок випаровування води, у циліндрі з обох від поршня боків містяться ненасичена пара (водяна пара) і азот. Отже, дана задача аналогічна задачі, у якій з обох боків від поршня в циліндрі містяться різні за природою газу.

Якщо позначити об'єм, який займає водяна пар через V_1 , а весь об'єм циліндра V , то в задачі треба визначити величину $\frac{V_1}{V}$. Молярні маси водяної пари M_1 і азоту M_2 відомі.

$$\frac{V_1}{V} = ?$$

$$V = 0,002 \text{ м}^3$$

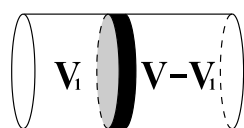
$$m_1 = 0,002 \text{ кг}$$

$$m_2 = 0,001 \text{ кг}$$

$$T = 373 \text{ К}$$

$$M_1 = 18 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{моль}}$$

$$M_2 = 28 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{моль}}$$



В задачі розглядаються стан водяної пари і стан азоту.

Стан водяної пари характеризується величинами: p_1, V_1, m_1, M_1, T_1 .

Стан азоту характеризується величинами: p_2, V_2, m_2, M_2, T_2 .

Поршень перебуває в рівновазі, тому $p_1 = p_2 = p$.

Температура однакова $T_1 = T_2 = T$.

Для кожного газу записуємо рівняння стану:

$$pV_1 = \frac{m_1}{M_1} RT, \quad pV_2 = \frac{m_2}{M_2} RT.$$

Додаткова умова $V_2 = V - V_1$.

Поділивши перше рівняння на друге, отримаємо:

$$\frac{V_1}{V - V_1} = \frac{m_1 M_2}{m_2 M_1}, \quad \frac{V_1}{V_1} = \frac{m_2 M_1}{m_1 M_2 + m_2 M_2}, \quad \frac{V_1}{V} = 0,24.$$

Для того щоб переконатися в тому, що водяна пара в цій задачі є ненасиченою, треба визначити її тиск. Тиск насиченої водяної пари 760 мм.рт.ст. при температурі 100°C (вода за нормального атмосферного тиску кипить, коли $t = 100^\circ\text{C}$; вода кипить за умови рівності тиску насиченої пари в бульбашках і атмосферному тиску).

ку).

Задача. Відносна вологість повітря за $t_1 = 30^\circ\text{C}$ дорівнює $\varphi_1 = 0,80$. Якою буде відносна вологість φ_2 , якщо це повітря нагріти при сталому об'ємі до $t_2 = 50^\circ\text{C}$? Тиск насиченої пари води за 30°C дорівнює $p_{\text{H}_1} = 31,8$ мм.рт.ст., за 50°C – $p_{\text{H}_2} = 92,5$ мм.рт.ст.

В задачі розглядаються два стани водяної пари, що міститься в повітрі. Маса пари й об'єм не змінюються. Отже, дана задача аналогічна задачі на ізохорний процес у газі, тобто на застосування закону Шарля. Відмінність тільки в тому, що тиск наявної (ненасиченої в даному випадку) пари обчислюється за формулою

$\varphi_2 = ?$	$p = p_{\text{H}}\varphi$.
$T_1 = 303\text{K}$	Параметри першого стану: p_1, V_1, T_1 .
$\varphi_1 = 0,80$	Параметри другого стану: p_2, V_2, T_2 .
$T_2 = 323\text{K}$	$V_1 = V_2 = V$.
$p_{\text{H}_1} = 31,8$ мм.рт.ст.	Отже, $\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$, $\frac{p_{\text{H}_1}\varphi_1}{T_1} = \frac{p_{\text{H}_2}\varphi_2}{T_2}$, $\varphi_2 = \varphi_1 \frac{T_2 p_{\text{H}_1}}{T_1 p_{\text{H}_2}}$, $\varphi_2 = 0,29$.
$p_{\text{H}_2} = 92,5$ мм.рт.ст.	

Задача. Вологе повітря за температури T і тиску p займає об'єм V . Відносна вологість повітря $\varphi\%$, тиск насиченої пари за цієї температури p_{H} . Визначити густину вологого повітря і масу водяної пари, яка в ньому міститься.

У задачі мова йде про вологе повітря, тобто суміш водяної пари й "сухого" повітря. Густину вологого повітря визначимо з формули $\rho = \rho_1 + \rho_2$, де ρ_1 – густина пари, ρ_2 – густина "сухого" повітря.

Отже, треба визначити ρ_1 і ρ_2 .

Параметри стану водяної пари: p_1, ρ_1, M_1, T_1 .

Параметри стану "сухого" повітря: p_2, ρ_2, M_2, T_2 .

Тиск наявної пари $p_1 = p_{\text{H}}\varphi$, тиск повітря $p_2 = p - p_1 = p - p_{\text{H}}\varphi$, адже згідно закону Дальтона $p = p_1 + p_2$. Температури пари і повітря однакові $T_1 = T_2 = T$. Молярна маса водяної пари M_1 , повітря – M_2 .

$$\text{Отже, } p_{\text{H}}\varphi = \frac{\rho_1}{M_1} RT; \quad p - p_{\text{H}}\varphi = \frac{\rho_2}{M_2} RT.$$

$$\text{Звідси: } \rho = \rho_1 + \rho_2 = \frac{1}{RT} [M_2(p - \varphi p_{\text{H}}) + M_1\varphi p_{\text{H}}].$$

Задача. Відносна вологість водяної пари, яка міститься в об'ємі $V = 20$ є за температури $t = 100^\circ\text{C}$, дорівнює $\varphi = 90\%$. Пару ізотермічно стискають, зменшуючи об'єм у два рази. Визначити масу сконденсованої води, якщо тиск насиченої пари за цієї температури $p_{\text{H}} = 10$ мм.рт.ст.

У задачі розглядаються два стани водяної пари. Маса пари змінюється. Маса сконденсованої води дорівнює різниці маси пари в об'ємі V до стискання і маси пари в об'ємі $\frac{1}{2}V$ після стискання: $\Delta m = m_1 - m_2$.

Параметри першого стану: p, V, m_1, M_1, T_1 .

$\Delta m - ?$	Параметри другого стану: p_1, V_1, m_2, M_2, T_2 .
$V = 2 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3$	До стискання пара була ненасиченою, її тиск дорівнював $p = p_H \phi$.
$t = 100^\circ \text{C}$	Тиск пари в другому стані $p_1 = p_H$.
$\phi = 90\%$	В обох станах розглядається водяна пара: $M_1 = M_2 = M$.
$p_H = 10^5 \text{ Па}$	Температура не змінюється: $T_1 = T_2 = T$.
$V_1 = \frac{1}{2} V$	Отже, $p_H \phi V = \frac{m_1}{M} RT$, $p_H \frac{1}{2} V = \frac{m_2}{M} RT$.
	$\Delta m = \frac{p_H VM}{RT} \left(\frac{\phi}{100} - \frac{1}{2} \right)$, $\Delta m = 0,0047 \text{ кг}$.

4. Самостійно розв'язати задачі:

1. Удень за 20°C відносна вологість повітря 60% . Скільки води у вигляді роси виділиться з кожного кубічного метра повітря, якщо температура вночі знизилася до 8°C ? Густина насиченої пари за 20°C $\rho_H = 17,3 \frac{\text{г}}{\text{л}}$, а за 8°C — $\rho_{H2} = 8,8 \frac{\text{г}}{\text{л}}$.

(Відповідь: $1,58 \text{ г}$)

2. Змішали $V_1 = 2 \text{ л}$ повітря з відносною вологістю $\phi_1 = 30\%$ і $V_2 = 1 \text{ л}$ з відносною вологістю $\phi_2 = 20\%$. Обидві порції взято за однакових температур. Суміш займає об'єм $V = 3 \text{ л}$. Визначити відносну вологість суміші.

(Відповідь: $\phi \approx 27\%$)

3. Яку кількість води можна випаровувати в приміщенні розміром $10 \times 8 \times 4,5 \text{ м}$, якщо температура повітря дорівнює 22°C , а відносна вологість 70% ? Густина насиченої водяної пари за температури 22°C дорівнює $\rho_H = 1,94 \cdot 10^{-2} \frac{\text{г}}{\text{л}}$.

План заняття

I. Перевірка знання студентами понять: насичена й ненасичена пара, вологість повітря.

II. Колективний аналіз логіки розв'язування однієї з домашніх задач.

III. Розв'язування задач:

1. Циліндричний посуд перерізом 100 см^2 має поршень масою $103,3 \text{ кг}$. Безпосередньо під поршнем міститься вода масою $0,2 \text{ г}$. На яку відстань переміститься поршень, переходячи в рівновагу, якщо посуд і воду нагріти до 423 К ? Атмосферний тиск нормальний, тиск насиченої водяної пари за 423 К дорівнює 475 кПа .

(Відповідь: $7,7 \text{ см}$)

2. У салоні літака, об'єм якого $V = 600 \text{ м}^3$, під час польоту підтримується температура $t_1 = 20^\circ \text{C}$ і відносна вологість $\phi_1 = 60\%$. Під час посадки літака температура в салоні підвищилася до $t_2 = 30^\circ \text{C}$. Скільки води необхідно випарувати, щоб вологість залишилася попередньою? Тиск насиченої пари за температури t_1 і t_2 відповідно дорівнює $p_{H1} = 2352 \text{ Па}$ і $p_{H2} = 4214 \text{ Па}$.

(Відповідь: $\Delta m = \frac{\phi_1 MV}{100 R} \left(\frac{p_{H2}}{T_2} - \frac{p_{H1}}{T_1} \right)$)

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ 5

Контрольна робота

ЕЛЕМЕНТИ ТЕРМОДИНАМІКИ

Студент повинен уміти розв'язувати задачі типу:

1. Суміш, яка складається з $m_1 = 5$ льоду і $m_2 = 15$ води за спільної температури $t = 0^\circ\text{C}$, треба нагріти до температури $t_1 = 80^\circ\text{C}$ пропусканням водяної пари за $t_2 = 100^\circ\text{C}$. Визначити необхідну кількість пари. Питома теплота плавлення льоду $\lambda = 330 \frac{\text{МДж}}{\text{кг}}$. Питома теплота пароутворення води $L = 2,3 \frac{\text{МДж}}{\text{кг}}$.

$$\text{(Відповідь: } m = \frac{m_1\lambda + (m_1 + m_2)c(t_1 - t)}{L + c(t_2 - t_1)}, \quad m = 3,6 \text{)}$$

2. Пробірка, у якій міститься $M = 12$ г води, занурюється в охолоджуючу суміш, де вода переохолоджується до $t = -5^\circ\text{C}$. Потім пробірку виймають і отряхують, причому частина води замерзає. Скільки води повинно перетворитися на лід, щоб між водою і стінками пробірки не відбувалося теплообміну?

$$\text{(Відповідь: } m = \frac{Mc\Delta t}{\lambda}, \quad m = 0,75 \text{)}$$

3. У колбі міститься вода при 0°C . Відкачуючи з колби повітря, заморозили всю воду шляхом власного випаровування. Яка частина води при цьому випарувалася, якщо притоку теплоти ззовні не було? Питома теплота випаровування при $t = 0^\circ\text{C}$ $L = 2543 \cdot 10^3 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$, теплота плавлення льоду $\lambda = 335,2 \cdot 10^3 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$.

$$\text{(Відповідь: } x = \frac{\lambda}{\lambda + L}, \quad x \cong 11,7\% \text{)}$$

4. У посудині Дьюарі зберігається $V = 2$ л рідкого азоту за температури $t_1 = -195^\circ\text{C}$. За одну добу ($\tau_a = 24$ год) випарувалася половина даної кількості азоту. Визначити питому теплоту випаровування азоту L , якщо відомо, що за температури $t = 0^\circ\text{C}$ у тій самій посудині протягом $\tau_{\text{л}} = 22,5$ год тане $m_{\text{л}} = 40$ кг льоду. Температура навколишнього повітря $t_2 = 20^\circ\text{C}$. Густина рідкого азоту $\rho = 8 \cdot 10^2 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$, питома теплота плавлення льоду $\lambda_{\text{л}} = 3,3 \cdot 10^5 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$. Вважати, що швидкість підведення тепла всередину посудини пропорційна різниці температур ззовні й всередині посудини.

$$\text{(Відповідь: } L_a = \frac{\Delta t_a \cdot \tau_a \cdot \lambda_{\text{л}} \cdot m_{\text{л}}}{\Delta t_{\text{в}} \cdot \tau_{\text{в}}}, \text{ де } m_a = \frac{1}{2} V \rho \text{)}$$

Зауваження. Швидкість підведення тепла згідно умови задачі: $\frac{Q}{\tau} = k\Delta t$, де Q – підведена кількість теплоти за час τ , k – коефіцієнт пропорційності, Δt – різниця температур ззовні і всередині посудини.

5. Визначити витрату нафти для плавлення в пічці 500кг сталі, якщо ККД пічки 70%. Питома теплота згоряння нафти $4,61 \cdot 10^7 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$. Початкова температура сталі 10°C , температура плавлення 1360°C .

(Відповідь: 13,8кг)

6. Санчата масою $m = 5 \text{ т}$ скочуються з гори, яка утворює з горизонтом кут $\alpha = 30^\circ$. Пройшовши відстань $l = 50 \text{ м}$, санчата розвивають швидкість $v = 4,1 \frac{\text{м}}{\text{с}}$. Обчислити кількість теплоти, що виділяється внаслідок тертя полозів об сніг.

(Відповідь: $Q = mgl \sin \alpha - \frac{mv^2}{2}$, $Q \approx 1,15 \text{ Дж}$)

7. Свинцева куля, яка летить зі швидкістю $v_1 = 400 \frac{\text{м}}{\text{с}}$, попадає у сталюну плиту і відскакує від неї зі швидкістю $v_2 = 300 \frac{\text{м}}{\text{с}}$. Яка частина кулі розплавиться, якщо її температура у момент удару дорівнювала $t_1 = 107^\circ \text{C}$ і на нагрівання кулі пішло $\eta = 0,8$ всієї роботи, що виконана під час удару? Питома теплоємність і питома теплота плавлення свинцю дорівнюють відповідно $c = 126 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ \text{C}}$, $\lambda = 25 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$.

(Відповідь: $\frac{\Delta m}{m} = \left[\frac{\eta(v_1^2 - v_2^2)}{2} - c(t_2 - t_1) \right] \cdot \frac{1}{\lambda}$, $\frac{\Delta m}{m} \approx 0,05$)

8. Автомобіль витрачає $m = 5,67 \text{ т}$ бензину на $S = 50 \text{ км}$ шляху. Визначити потужність N , яка розвивається двигуном, якщо швидкість руху $v = 90 \frac{\text{км}}{\text{год}}$ і ККД двигуна $\eta = 22\%$. Теплотворна здатність бензину $q = 45 \cdot 10^6 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$.

(Відповідь: $\approx 28 \text{ кВт}$)

9. Обчислити роботу, яку виконує газ у разі ізобарного нагрівання від $t_1 = 20^\circ \text{C}$ до $t_2 = 100^\circ \text{C}$, якщо він міститься у вертикальній посудині, закритій рухомих поршнем. Площа поршня $S = 20 \text{ см}^2$, його маса $m = 5 \text{ т}$. Початковий об'єм газу $V = 5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$, атмосферний тиск $p_0 = 10^5 \text{ Па}$.

(Відповідь: $A = \left(p_0 + \frac{mg}{S} \right) V \left(\frac{T_2}{T_1} - 1 \right)$, $A = 170 \text{ Дж}$)

10. Чому дорівнює тиск одноатомного газу, який займає об'єм $V = 2 \text{ м}^3$, якщо його внутрішня енергія $U = 300 \text{ Дж}$?

(Відповідь: $p = \frac{2U}{3V}$)

11. Посудина містить $m = 1,28 \text{ т}$ гелію за температури $t = 27^\circ \text{C}$. У скільки разів зміниться середня квадратична швидкість молекул гелію, якщо його адиабатно стиснуть, виконавши роботу $A = 252 \text{ Дж}$?

(Відповідь: $\alpha = \sqrt{1 + 2 \frac{MA}{3mRT}}$, $\alpha \approx 1,1$)

12. Ідеальна теплова машина, яка працює від нагрівника з температурою $T_1 = 750 \text{ К}$, за певний час виконала роботу $A = 300 \text{ Дж}$. Яку кількість теплоти за цей час передано холодильнику, якщо його температура $T_2 = 300 \text{ К}$?

(Відповідь: $Q = A \frac{T_2}{T_1 - T_2}$, $Q = 200 \text{ Дж}$)

13. Температура газів, які утворюються під час згоряння палива в циліндрах двигуна автомобіля, дорівнює $t_1 = 800^\circ\text{C}$, температура вихлопних газів – $t_2 = 80^\circ\text{C}$. Витрати палива на шляху $s = 100\text{ м}$ за швидкості $v = 90\frac{\text{км}}{\text{год}}$ дорівнює $V = 10^{-2}\text{ м}^3$, теплота згоряння палива $q = 3,2 \cdot 10^{10}\frac{\text{Дж}}{\text{м}^3}$. Яку потужність міг би розвинути двигун, коли б він був ідеальною тепловою машиною, що працює з максимально можливим ККД?

$$\text{(Відповідь: } P = \frac{T_1 - T_2}{T_1} q \frac{Vv}{s}, \quad P \approx 54\text{ кВт)}$$

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ 6

Розв'язування задач пов'язаних зі зміною внутрішньої енергії тіла під час теплопередачі

Підготовка до заняття

1. Пригадати зміст понять: внутрішня енергія, кількість теплоти, теплоємність, питомі теплоти плавлення й пароутворення, питома теплота згоряння палива, рівняння теплового балансу [, с. 58-61].

2. Ознайомитися з методичними рекомендаціями щодо розв'язування задач із даної теми.

Основне розрахункове співвідношення для даної групи задач: $Q_{\text{вд}} = Q_{\text{от}}$, де $Q_{\text{вд}}$ – сума всіх кількостей теплоти, які віддали тіла ізолюваної системи при їх взаємодії; $Q_{\text{от}}$ – сума всіх кількостей теплоти, які отримали тіла ізолюваної системи при їх взаємодії. Це рівняння має назву рівняння теплового балансу.

Під час розв'язування задач на рівняння теплового балансу доцільно виконувати такі дії:

1. Прочитавши умову задачі, коротко записавши її умову, впевнитися, що дана задача є задачею даного типу.
2. З'ясувати, які процеси відбуваються у вибраній, за умовою задачі, ізолюваній системі тіл.
3. Записати формули для кількостей теплоти, які віддають тіла даної системи.
4. Записати формули для кількостей теплоти, які отримують тіла даної системи.
5. Скласти рівняння теплового балансу.
6. Записати додаткові умови.
7. Розв'язати отриману систему рівнянь.

Поради

1. Ознакою того, що дана задача відноситься до задач на складання рівняння теплового балансу є те, що в ній розглядаються процеси зміни внутрішньої енергії тіл (нагрівання, охолодження, плавлення, кристалізація, пароутворення, конденсація, згоряння палива) без виконання роботи ні над системою тіл, ні самою сис-

темою. Предметом задачі є система тіл, яку можна вважати ізольованою.

2. Для того, щоб розкрити й зрозуміти фізичний зміст задачі, треба враховувати ті перетворення енергії, що відбуваються в процесах, визначених умовою задачі:

✓ При випаровуванні води (в задачах розглядається, як правило, дана рідина) з неї вилітають найбільш швидкі молекули, внаслідок чого потенціальна енергія цих молекул збільшується, сумарна кінетична енергія молекул, що залишилася, зменшується і вода охолоджується.

Якщо створити такі умови, за яких відбуватиметься швидке випаровування води без її теплообміну з оточуючим середовищем, наприклад, відкачувати пару води з посудини, то кінетична енергія молекул, що залишаться, може зменшитися настільки, що вони можуть утворити тверду фазу води – лід.

✓ При плавленні кристалічних тіл за рахунок енергії, яка підводиться до тіла (при $A = 0$), потенціальна енергія атомів або молекул речовини збільшується.

У процесі кристалізації потенціальна енергія частинок речовини зменшується, а їх кінетична енергія майже не змінюється.

Для того щоб вода замерзла при охолодженні, у ній повинні знаходитися неоднорідні включення – центри кристалізації, навколо яких розпочинається зростання кристалів льоду. При відсутності центрів кристалізації воду можна охолодити до температури значно нижчої 0°C . Така вода має назву переохолодженої. Якщо в переохолодженій воді штучно створити центри кристалізації, у ній почне утворюватися лід. Молекули переходять у стан, якому відповідає мінімум їх потенціальної енергії. Зменшення потенціальної енергії однієї частини молекул води, що утворюють лід, викликає збільшення теплового руху окремих молекул, що реєструється як нагрівання води.

✓ Якщо на лід чинити тиск більший за атмосферний, то його температура плавлення стає меншою за 0°C і лід, який має таку температуру починає плавитися, переймаючи енергію з оточуючого середовища, яке має таку саму температуру. При теплоізоляції такого льоду, середовищем, яке віддає цю енергію, є сам лід. У такому випадку робота, що виконується зовнішніми силами, йде на перерозподіл енергії між молекулами води. Частина вихідної кількості льоду зростає, частина охолоджується до нової температури плавлення і система приходиться у рівноважний стан.

Наведений приклад показує, що агрегатні перетворення відбуваються не тільки в процесі теплообміну з оточуючими тілами, а й у наслідок перерозподілу внутрішньої енергії в самому тілі.

3. Записуючи рівняння теплового балансу у формі $Q_{\text{а\text{в}}} = Q_{\text{іод}}$, у формулі $Q = mc(t_2 - t_1)$ треба завжди віднімати від більшої температури меншу.

4. У задачах, у яких задано ККД теплообміну, його завжди треба ставити співмножником перед $Q_{\text{а\text{в}}}$.

5. При агрегатних перетвореннях речовини рівняння теплового балансу в загальному випадку не можна записати в загальному вигляді, тому що його вигляд залежить від числових значень заданих величин. Щоб не робити зайвих обчислень у всіх випадках, де з'являються сумніви відносно того, що речовина після даного

процесу перебуватиме в одному чи двох агрегатних станах, доцільно виконати такі дії: знайти, яка кількість теплоти Q_1 потрібна для нагрівання холодного тіла до температури відповідного перетворення (плавлення або кипіння) і скільки теплоти Q_2 може віддати гаряче тіло при охолодженні або при повній конденсації (кристалізації). Якщо виявиться, що $Q_1 > Q_2$, то після перерозподілу енергії отримаємо одну фазу речовини, якщо $Q_1 < Q_2$, то за встановленої температури речовина буде перебувати у двох фазах – у вигляді пари і рідини (рідини і льоду). Після цього можна скласти остаточне рівняння теплового балансу, з якого визначається шукана величина.

6. Якщо отримано вираз $\frac{a}{b} = c$, а треба знайти значення виразу $\frac{b}{a+b}$, то виконують такі дії: $1 + \frac{a}{b} = 1 + c$, $\frac{b+a}{b} = 1 + c$, $\frac{b}{b+a} = \frac{1}{1+c}$.

3. Ознайомитися з методами розв'язування окремих типів задач.

Задача. У калориметр, в якому міститься $m_1 = 200$ г води за температури $t_1 = 15^\circ\text{C}$, кинули $m_2 = 20$ г мокрого снігу. Температура у калориметрі знизилася на $\Delta t = 5^\circ\text{C}$. Скільки води було у снігу? Теплопровідністю калориметра знехтувати.

$m_1 = 200$ г	0,2 кг
$t_1 = 15^\circ\text{C}$	288 К
$m_2 = 20$ г	0,02 кг
$\Delta t = 5^\circ\text{C}$	278 К

В задачі розглядається система тіл – вода у калориметрі і мокрий сніг – між якими відбувається теплообмін. Цю систему тіл вважатимемо ізольованою.

У процесі теплообміну відбуваються такі явища:

- 1) вода у калориметрі охолоджується від t_1 до $(t_1 - \Delta t)$;
- 2) мокрий сніг – це суміш води і снігу, тому він перебуває за температури $t_2 = 0^\circ\text{C}$ доти, доки сніг не розтане повністю;
- 3) сніг тане, внаслідок чого утворюється вода масою m_3 за температури 0°C ; сніг тане повністю, адже кінцева температура у калориметрі $(t_1 - \Delta t) > 0^\circ\text{C}$;
- 4) вода масою m , що була у снігу і вода, що утворилася внаслідок танення снігу, нагріваються від t_2 до $(t_1 - \Delta t)$.

Таким чином, кількість теплоти, яку віддають тіла, що охолоджуються (вода в калориметрі), дорівнює $Q_1 = m_1 c_a (t_1 - (t_1 - \Delta t)) = m_1 c_a \Delta t$. Кількість теплоти, яку отримують тіла системи, складається з кількості теплоти, що пішла на танення снігу $Q_2 = m_3 \lambda = (m_2 - m) \lambda$ і кількості теплоти, що пішла на нагрівання води, яка була у снігу і яка утворилася внаслідок танення снігу $Q_3 = m_2 c_a (t_1 - \Delta t) - t_2 = m_2 c_a (t_1 - \Delta t)$.

Рівняння теплового балансу має вигляд:

$$Q_1 = Q_2 + Q_3$$

$$m_1 c_a \Delta t = (m_2 - m) \lambda + m_2 c_a (t_1 - \Delta t)$$

$$m = \frac{m_2 c_a (t_1 - \Delta t) + m_2 \lambda - m_1 c_a \Delta t}{\lambda}$$

Числові значення питомої теплоємності води й питомої теплоти плавлення снігу відомі з відповідних довідкових таблиць: $c_a = 4,2 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$, $\lambda = 330 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$.

Якщо обчислити значення m , то $m \approx 9,8$ г.

Задача. У посудину, у якому міститься 10кг льоду за 0°C , вливають 3кг води за 90°C . Яка встановиться температура? Скільки води буде в посудині? Теплоємність посудини знехтувати.

$$\begin{array}{l} t - ? \quad m - ? \\ m_1 = 10 \text{ кг} \\ t_1 = 0^{\circ}\text{C} \\ m_2 = 3 \text{ кг} \\ t_2 = 90^{\circ}\text{C} \end{array}$$

В задачі розглядається система тіл – лід і вода, між якими відбувається теплообмін. Цю систему можна вважати ізольованою.

На відміну від попередньої задачі не можна наперед стверджувати, що стане в посудині – вода чи вода і лід.

Тому, спочатку треба дати відповідь на це запитання.

Згідно умови задачі вода, що має температуру 90°C , віддає тепло

$$Q_1 = m_2 c_a (t_2 - t_1).$$

Охолодження води до 0°C супроводжується максимальною кількістю теплоти, яку вода може віддати $Q_1 = 3 \cdot 4,2 \cdot 10^3 \cdot 90 = 113,4 \cdot 10^4 \text{ (Дж)}$.

Для танення всього льоду потрібна кількість теплоти $Q_2 = m_1 \lambda$, $Q_2 = 10 \cdot 330 \cdot 10^3 = 330 \cdot 10^4 \text{ (Дж)}$.

Отже, $Q_1 < Q_2$. Це означає, що у посудині буде суміш льоду і води, тому температура суміші 0°C .

Складемо рівняння теплового балансу. Кількість теплоти, що віддала гаряча вода, охолоджуючись до 0°C $Q_1 = m_2 c_a (t_2 - t_1)$. Кількість теплоти, що пішла на нагрівання льоду $Q_2 = m \lambda$, де m – маса льоду, що розплавився.

$$Q_1 = Q_2$$

$$m_2 c_a (t_2 - t_1) = m \lambda$$

$$m = \frac{m_2 c_a (t_2 - t_1)}{\lambda}$$

$$m = \frac{113,4 \cdot 10^4}{330 \cdot 10^3} \cong 3,4 \text{ (кг)}$$

Враховуючи, що маса льоду, який залишився, дорівнює $\Delta m = m_1 - m$, то у посуді буде $m_2 + m = 3 + 3,4 = 6,4 \text{ (кг)}$ води.

Задача. При дотриманні необхідних умов вода була переохолоджена до температури $t_1 = -10^{\circ}\text{C}$. Скільки льоду утвориться з такої води, масою $m_0 = 1 \text{ кг}$, якщо у воду кинути шматок льоду й тим самим викликати замерзання води? Яку температуру повинна мати переохолоджена вода, щоб вона повністю перетворилася на лід?

Питома теплоємність переохолодженої води $c_a = 4,19 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^{\circ}\text{C}}$, льоду $c_b = 2,1 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^{\circ}\text{C}}$.

Питома теплота плавлення (кристалізації) льоду $\lambda = 0,33 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$.

(Дивись пораду 2(2)).

У задачі розглядається переохолоджена вода.

У ній відбувається перерозподіл енергії при кристалізації частини води, вона віддає кількість теплоти. Ця кількість теплоти йде на нагрівання утворюваного льоду і води, що залишилася, до температури $t_0 = 0^{\circ}\text{C}$.

Кількість теплоти, що виділяється при крис-

$$\begin{array}{l} m_b - ? \quad t_x - ? \\ t_1 = -10^{\circ}\text{C} \\ m_0 = 1 \text{ кг} \end{array}$$

$$263\text{K}$$

$$m_0 = 1 \text{ кг}$$

$$c_a = 4,19 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^{\circ}\text{C}} \quad 4,19 \cdot 10^3 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^{\circ}\text{C}}$$

$$c_b = 2,1 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^{\circ}\text{C}} \quad 2,1 \cdot 10^3 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^{\circ}\text{C}}$$

$$\lambda = 0,33 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}} \quad 0,33 \cdot 10^6 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$$

талізації частини води масою m_{e} : $Q_1 = \lambda m_{\text{e}}$.

Кількість теплоти, що йде на нагрівання льоду масою m_{e} від t_1 до t_0 :
 $Q_2 = m_{\text{e}} \tilde{n}_{\text{e}} (t_0 - t_1)$.

Кількість теплоти, що йде на нагрівання води, що залишилася, масою $(m_0 - m_{\text{e}})$ від t_1 до t_0 : $Q_3 = (m_0 - m_{\text{e}}) c_{\text{a}} (t_0 - t_1)$.

Рівняння теплового балансу:

$$Q_1 = Q_2 + Q_3$$

$$\lambda m_{\text{e}} = m_{\text{e}} c_{\text{e}} (t_0 - t_1) + (m_0 - m_{\text{e}}) c_{\text{a}} (t_0 - t_1)$$

$$m_{\text{e}} = \frac{c_{\text{a}} (t_0 - t_1)}{\lambda + (c_{\text{a}} - c_{\text{e}}) (t_0 - t_1)} \cdot m_0, \quad m_{\text{e}} \approx 0,12 \text{ т}$$

Для того, щоб замерзла вся переохолоджена вода, енергія, яка виділяється при кристалізації, повинна повністю йти на нагрівання утвореного льоду:

$$\lambda m_0 = m_0 \tilde{n}_{\text{e}} (t_0 - t_x), \quad t_x = \frac{\lambda}{\tilde{n}_{\text{e}}}, \quad t_x = -160^\circ \text{C}$$

Задача. Лід масою $M = 1 \text{ кг}$ за температури 0°C міститься в теплоізоляційній посудині. На лід чиниться тиск $p = 6,9 \cdot 10^7 \text{ Па}$. Скільки льоду розплавиться, якщо при збільшенні тиску на $\Delta p = 3,8 \cdot 10^7 \text{ Па}$ температура плавлення знижується на $\Delta t = 1^\circ \text{C}$? Зниження температури плавлення від 0°C вважати пропорційним збільшенню тиску більше атмосферного.

(Дивись пораду 2(3)).

$m - ?$		В задачі розглядається лід.
$M = 1 \text{ т}$		У ньому відбувається перерозподіл енергії в таких процесах: частина льоду розтає, а інша його частина охолоджується до нової температури плавлення t .
$t_1 = 0^\circ \text{C}$	273K	Увесь лід, за умовою задачі, теплоізоляований від зовнішнього середовища.
$p = 6,9 \cdot 10^7 \text{ Па}$		Кількість теплоти, яку віддає лід масою M охолоджуючись від $t_1 = 0^\circ \text{C}$ до t : $Q_1 = M c_{\text{a}} (t - t_1)$.
$\Delta p = 3,8 \cdot 10^7 \text{ Па}$		Кількість теплоти, що йде на плавлення частини льоду: $Q_2 = \lambda m$.
$\Delta t = 1^\circ \text{C}$	274K	
$\Delta t = k \Delta p$		

Рівняння теплового балансу: $Q_1 = Q_2$, $c_{\text{a}} M (t - t_1) = \lambda m$.

Невідомою є нова температура плавлення льоду. Але, за умовою задачі, зміна температури плавлення $(t - t_1)$ пропорційна збільшенню тиску $(p - p_{\text{atm}})$:

$$t - t_1 = k(p - p_{\text{atm}}).$$

Водночас, відомо, що $\Delta t = k \Delta p$. Отже:

$$k = \frac{\Delta t}{\Delta p}, \quad t - t_1 = \frac{\Delta t}{\Delta p} (p - p_{\text{atm}})$$

$$c_{\text{a}} M \frac{\Delta t}{\Delta p} (p - p_{\text{atm}}) = \lambda m, \quad m = \frac{c_{\text{a}} M \Delta t (p - p_{\text{atm}})}{\lambda \Delta p}, \quad m \approx 11,3 \text{ г}$$

Задача. Колбу з 600г води за температури 10°C нагрівають на спиртівці з ККД 35%. Через який час вода закипить? Скільки води щосекунди перетворюється

на пару під час кипіння, якщо за 1хв згоряє 2г спирту? Теплоємність колби $100 \frac{\text{Äæ}}{\text{Ê}}$.

У першій частині задачі розглядається нагрівання двох тіл – колби і води, що в ній міститься, за рахунок частини енергії, що виділяється під час згоряння спирту. Ця частина енергії йде на нагрівання води і колби від t_1 до t_2 . Знаючи, скільки

спирту повинно згоріти для нагрівання води і колби та яка маса згоряє спирту за одиницю часу, можна знайти час згоряння відповідної маси спирту.

Кількість теплоти, що виділяється під час згоряння спирту: $Q_1 = mr$.

Кількість теплоти, що йде безпосередньо на нагрівання води і колби $Q_2 = \eta Q_1 = \eta mr$.

Кількість теплоти, що йде на нагрівання води: $Q_3 = m_1 c_a (t_2 - t_1)$.

Кількість теплоти, що йде на нагрівання колби: $Q_4 = C(t_2 - t_1)$.

$\tau - ? \text{ м} - ?$	283K
$m_1 = 0,6 \text{ êã}$	
$t_1 = 10^0 \text{ C}$	
$\eta = 0,35$	
$\tau_1 = 60 \text{ c}$	
$m_2 = 2 \cdot 10^{-3} \text{ êã}$	
$C = 100 \frac{\text{Äæ}}{\text{Ê}}$	
$t_2 = 100^0 \text{ C}$	373K

$$Q_2 = Q_3 + Q_4, \quad \eta mr = (m_1 c_a + C)(t_2 - t_1), \quad m = \frac{(m_1 c_a + C)(t_2 - t_1)}{\eta r}$$

$$\tau = \frac{m}{m_2}, \quad \tau = 12 \text{ ðã}.$$

У другій частині задачі розглядається процес пароутворення води: вся кількість теплоти, що дорівнює $\eta m_1 q$, де m_1 – кількість спирту, що згоряє за 1с, повністю йде на пароутворення води при $t = 100^0 \text{ C}$.

$$\eta m_1 q = m_x r, \quad m_x = \frac{\eta m_1 q}{r}, \quad m_x = 0,15 \text{ ã}.$$

4. Самостійно розв'язати задачі:

1. Яка кількість теплоти потрібна для перетворення 0,1кг льоду, що має температуру -10^0 C , на пару за температури 110^0 C ?

2. Суміш із свинцевих й алюмінієвих ошуків із загальною масою 150г і за температури 100^0 C занурили у калориметр з водою за температури 15^0 C . Маса води 230г. Кінцева температура встановилася 20^0 C . Теплоємність калориметра $42 \frac{\text{Äæ}}{\text{Ê}}$. Скільки свинцю і алюмінію було у суміші?

(Відповідь: 92г, 58г)

3. Скільки сталі за температури 20^0 C можна розплавити у пічці з ККД 50% при згорянні 2г кам'яного вугілля?

(Відповідь: 40г)

План заняття

I. Перевірка знання студентами понять: внутрішня енергія, кількість теплоти, теплоємність, питомі теплоти плавлення й пароутворення, питома теплота згоряння палива, рівняння теплового балансу.

II. Колективний аналіз логіки розв'язування однієї з домашніх задач.

III. Розв'язування задач:

1. В алюмінієвий калориметр масою 300г опустили шматок льоду. Темпера-

тура калориметра і льоду -15°C . Потім пропустили через калориметр водяну пару за температури 100°C . Після того, як температура суміші стала 25°C виміряли масу суміші, яка дорівнювала 500г. Знайти масу сконденсованої пари і масу льоду, що містився в калориметрі на початку досліду.

(Відповідь: 420г, 80г)

2. Через воду за температури 10°C пропускають водяну пару за 100°C . Скільки відсотків складатиме маса води, що утворилася з пари, від маси всієї води в посудині в момент, коли її температура дорівнювала 50°C ?

(Відповідь: 0,3%)

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ 7

Розв'язування задач на зміну внутрішньої енергії тіла під час виконання роботи

Підготовка до заняття

1. Пригадати зміст понять: імпульс тіла, механічна робота, енергія, закони збереження імпульсу й енергії [, с. 26-33].

2. Ознайомитися з методичними рекомендаціями щодо розв'язування задач із даної теми.

Під час розв'язування задач, у яких розглядається зміна внутрішньої енергії під час виконання роботи, доцільно виконувати такі дії:

1. Прочитавши умову задачі, коротко записавши її умову, впевнитися, що дана задача є задачею даного типу.
2. З'ясувати, у якого з двох взаємодіючих тіл змінюється внутрішня енергія.
3. З'ясувати, з якими процесами пов'язана зміна внутрішньої енергії й записати відповідні формули.
4. З'ясувати, що є причиною зміни внутрішньої енергії – робота, яка виконується самим тілом, чи робота, яка виконується над тілом. Записати відповідні формули для обчислення цієї роботи.
5. Прирівняти зміну внутрішньої енергії тіла до роботи, враховуючи, яка частина механічної енергії пішла на зміну внутрішньої енергії.
6. Записати додаткові умови.
7. Розв'язати отриману систему рівнянь.

Поради

1. Ознакою даного класу задач є не тільки зміна внутрішньої енергії під час виконання роботи, а й відсутність отримання тепла тілами ззовні.

2. Для обчислення зміни внутрішньої енергії використовуються формули: $\Delta U = Q = qm$ (згоряння палива), $\Delta U = Q = cm\Delta t + \lambda m$ (нагрівання й плавлення кристалічних тіл), $\Delta U = Q = cm\Delta t + rm$ (нагрівання й випаровування).

3. Для обчислення роботи використовуються формули: $A = Fs$, $A = Nt$, $A = E_2 - E_1$.

4. Якщо за умовою задачі внутрішня енергія збільшується за рахунок роботи, яка виконується над тілом, і за певних причин лише її частина йде на збільшення U , то $\eta A = \Delta U$.

5. Окремий вид задач пов'язаний зі згорянням палива, внаслідок чого части-

на теплоти, яка при цьому виділяється, йде на виконання роботи.

3. Ознайомитися з методами розв'язування окремих типів задач.

Задача. Деяка установка, що розвиває потужність $N = 30 \text{ кВт}$, охолоджується проточною водою, яка тече спіральною трубкою перерізом $S = 1 \text{ м}^2$. При встановленому режимі проточна вода нагрівається на $\Delta t = 15^\circ \text{C}$. Визначити швидкість води v , припускаючи, що на нагрівання води йде $\eta = 0,3$ потужності, яку розвиває установка.

У задачі розглядається перетворення частини механічної енергії у внутрішню енергію за відсутності отриманого ззовні тепла.

$v - ?$	Змінюється внутрішня енергія води – вода нагрівається:
$N = 30 \cdot 10^3 \text{ Вт}$	$\Delta U = cm\Delta t$, де m – маса води, яка проходить через переріз тру-
$S = 1 \text{ м}^2$	бки за певний час τ .
$\Delta t = 15^\circ \text{C}$	Причиною нагрівання води є перетворення частини механічної
$\eta = 0,3$	енергії на внутрішню енергію: $A = N\tau$.
	За законом збереження й перетворення енергії $A = \Delta U$. Отже,
	$cm\Delta t = N\tau$.

Маса води, яка проходить через переріз S трубки за час τ , обчислюється за формулою: $m = \rho S v \tau$, де ρ – густина води, v – швидкість течії.

$$\rho S v \tau \Delta t = \eta N \tau, \quad v = \frac{\eta N}{\rho S \Delta t}, \quad v = 4,8 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Задача. Вал, діаметром 10 см, обертається у підшипнику з частотою $200 \frac{\text{об}}{\text{с}}$ і

тисне на підшипник з силою 12 кН. Визначити годинний розхід масла, що пропускається для охолодження підшипника, якщо температура масла при подачі 12°C , а при виході 60°C . Коефіцієнт тертя 0,015, питома теп-

$m - ?$		лоємність масла $1,7 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$.
$d = 10 \text{ см}$	0,1 м	
$n = 200 \frac{\text{об}}{\text{с}}$	$3,34 \frac{\text{об}}{\text{с}}$	В задачі розглядається перетворення механічної
$F_0 = 12 \text{ кН}$	$12 \cdot 10^3 \text{ Н}$	енергії на внутрішню за відсутності отримання тепла
$t_1 = 12^\circ \text{C}$	285 К	ззовні.
$t_2 = 60^\circ \text{C}$	333 К	Змінюється внутрішня енергія масла – масло на-
$\mu = 0,015$		грівается:
$c = 1,7 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$	$1,7 \cdot 10^3 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$	$\Delta U = cm(t_2 - t_1)$.
$\tau = 1 \text{ год}$	3600 с	Причиною нагрівання масла є робота сили тертя:
		$A = N\tau$.
		Потужність $N = F_{\text{тертя}} v$, $v = 2\pi nR$, $F_{\text{тертя}} = \mu F_{\text{норм}}$.
		За законом збереження й перетворення енергії
		$cm(t_2 - t_1) = \mu F_{\text{норм}} 2\pi n d \tau$,
		$m = \frac{\mu F_{\text{норм}} 2\pi n d \tau}{c(t_2 - t_1)}$,
		$m = 8,3 \text{ кг}$

Задача. З якою швидкістю повинні летіти назустріч одна одній дві однакові

льодинки, що мають температуру $t = -10^{\circ}\text{C}$, щоб при ударі вони перетворилися на пару? Питома теплоємність і теплота плавлення льоду дорівнюють відповідно ν - ?

$m_1 = m_2 = m$	
$t = -10^{\circ}\text{C}$	263°K
$t_1 = 0^{\circ}\text{C}$	273°K
$t_2 = 100^{\circ}\text{C}$	373°K
$c_{\text{л}} = 2,9 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{K}}$	$2,9 \cdot 10^3 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{K}}$
$\lambda = 330 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$	$330 \cdot 10^3 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$
$r = 2,26 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$	$2,26 \cdot 10^6 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$
$\tilde{m}_{\text{л}} = 4,2 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{K}}$	$4,2 \cdot 10^3 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{K}}$

$c = 2,9 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{K}}$ і $\lambda = 330 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$. Питома теплота пароутворення води за 100°C $r = 2,26 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$.

У задачі розглядається перетворення механічної енергії на внутрішню за відсутності отримання тепла ззовні.

Змінюється внутрішня енергія тіл у процесах: льодинки нагріваються від t до температури плавлення, льодинки плавляться, отримана вода нагрівається від 0°C до кипіння і випаровується:

$$\Delta U = 2mc_{\text{л}}(t_1 - t) + 2m\lambda + 2mc_{\text{в}}(t_2 - t_1) + 2mr.$$

Причиною зміни внутрішньої енергії тіл є перетворення в неї механічної енергії. Кінетична

енергія змінюється від $E_1 = 2 \cdot \frac{mv^2}{2}$ до $E_2 = 0$.

Отже, за законом збереження енергії $\Delta U = \Delta E$:

$$2mc_{\text{л}}(t_1 - t) + 2m\lambda + 2mc_{\text{в}}(t_2 - t_1) + 2mr = mv^2$$

$$v = \sqrt{2[c_{\text{л}}(t_1 - t) + \lambda + c_{\text{в}}(t_2 - t_1) + r]}, \quad v \approx 2,4 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Задача. Міжнародний автобус пройшов шлях 80км за 1год. Двигун при цьому розвивав середню потужність 70кВт при ККД рівному 25%. Скільки дизельного палива, густина якого $800 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$, зекономив водій у рейсі, якщо норма розходу горючого 40л на 100км?

ΔV - ?	
$l = 80 \text{ км}$	$8 \cdot 10^4 \text{ м}$
$\tau = 1 \text{ год}$	3600 с
$N = 70 \text{ кВт}$	$7 \cdot 10^4 \text{ Вт}$
$\eta = 0,25$	
$\rho = 800 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$	
$V_1 = 40 \text{ л}$	$4 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3$
$s_1 = 100 \text{ км}$	10^4 м

На відміну від попередніх задач у даній задачі розглядається перетворення внутрішньої енергії палива у механічну енергію.

Робота, що виконує двигун, дорівнює: $A = N\tau$.

Та частина зміни внутрішньої енергії, що перетворюється на механічну енергію, дорівнює: $\Delta U = \eta mq$, де m – маса палива, q – питома теплота згоряння палива ("теплотворність" палива).

$$A = \Delta U, \quad N\tau = \eta mq.$$

Нам треба знайти об'єм витраченого палива $V = \frac{m}{\rho}$.

$$\text{Отже, } N\tau = \eta\rho Vq, \quad V = \frac{N\tau}{\eta\rho q}.$$

Об'єм палива, яке повинно витрачатися за нормою: $V_2 = V_1 \frac{1}{s}$.

$$\text{Таким чином, } \Delta V = V_2 - V = V_1 \frac{1}{s} - \frac{N\tau}{\eta\rho q}, \quad \Delta V = 0,002 \text{ м}^3.$$

4. Самостійно розв'язати задачі:

1. На токарному верстаті обточують вал зі швидкістю різання $100 \frac{\text{м}}{\text{хв}}$. Сила різання дорівнює 2150Н. Яку кількість теплоти треба відводити із зони різання щохвилини, якщо на нагрівання різця, деталі та стружки витрачається 80% механічної енергії?

(Відповідь: $1,72 \cdot 10^5 \text{ Дж}$)

2. Паровий молот, що має масу 10т, вільно падає з висоти 2,5м на залізну болванку масою 250кг. На нагрівання болванки йде 30% кількості теплоти, яка виділяється під час удару. Скільки разів слід ударити молотом, щоб температура болванки піднялась на 20°C ?

(Відповідь: 34 рази)

План заняття

I. Перевірка знання студентами понять: імпульс тіла, механічна робота, енергія, закони збереження імпульсу й енергії.

II. Колективний аналіз логіки розв'язування однієї з домашніх задач.

III. Розв'язування задач:

1. Свинцева куля пробиває дерев'яну стінку, причому швидкість у момент удару о стінку дорівнює $v = 400 \frac{\text{м}}{\text{с}}$, а у момент вильоту $v_2 = 100 \frac{\text{м}}{\text{с}}$. Яка частина кулі розплавиться, вважаючи, що на її нагрівання йде 60% втраченої механічної енергії? Температура кулі у момент удару $t_1 = 50^\circ\text{C}$. Питома теплоємність свинцю $c = 125,7 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$, температура плавлення $t_f = 327^\circ\text{C}$, питома теплота плавлення $\lambda = 26,4 \cdot 10^3 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$.

(Відповідь: $\approx 40\%$)

2. Автомобіль масою 4,6т починає рухатися з місця на підйомі, який дорівнює 0,025, і, розганяючись рівноприскорено, за 40с проходить 200м. Знайти розхід бензину (у літрах) на цій ділянці, якщо коефіцієнт опору 0,02 і ККД дорівнює 20%.

(Відповідь: 0,1л)

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ 8

Логіка вивчення першого закону термодинаміки

Підготовка до заняття

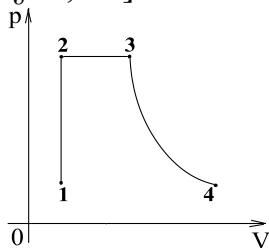
1. Пригадати зміст понять: імпульс тіла, механічна робота, енергія, закон збереження і перетворення енергії, перший закон термодинаміки [, с. 32, 58-59, 61-62].

2. Запропонувати способи розв'язування навчальної й пізнавальних задач:

– Який зміст набуває закон збереження і перетворення енергії для процесів,

пов'язаних зі зміною внутрішньої енергії системи тіл?

– Чи можна створити двигун, який зміг би нескінченно довго виконувати роботу за рахунок кінцевого значення внутрішньої енергії будь-якої системи? [, §35, 37].



– Як змінюється внутрішня енергія, температура ідеального газу в процесах 1 – 2, 2 – 3, 3 – 4 (крива 3 – 4 ізотерма) за умови, що в кожному із цих процесів газ отримує однакову кількість теплоти.

– Які особливості зміни внутрішньої енергії в теплоізованій системі тіл?

План проведення першої частини заняття

1. Розповідь: мета даного заняття.

2. Перевірка знання студентами понять: робота, енергія, внутрішня енергія, кількість теплоти, закон збереження і перетворення енергії, перший закон термодинаміки.

3. Введення змісту компонента "Перший закон термодинаміки".

I. Висування навчальної задачі.

Ми поставили перед собою задачу: З'ясувати, чи можна побудувати "вічний" двигун.

Спочатку знайдемо відповідь на запитання: Чи можна побудувати машину, яка б могла нескінченно довго виконувати роботу за рахунок кінцевого значення внутрішньої енергії будь-якої системи?

II. Прогнозування наступної діяльності.

Що треба з'ясувати для відповіді на поставлене запитання?

– Пригадайте, якими способами можна змінити внутрішню енергію тіл? Наведіть приклади.

Дійсно, внутрішню енергію тіла можна змінити шляхом теплопередачі й шляхом виконання роботи.

У поставленій задачі мова йде про машину, під час роботи якої змінюється внутрішня енергія тіл. Тому, для того щоб відповісти на поставлене запитання, треба встановити зв'язок зміни внутрішньої енергії з кількістю наданої теплоти й виконаною машиною роботою.

III. Введення рівняння стану ідеального газу.

– Пригадайте, у чому полягає закон збереження і перетворення енергії?

З'ясуємо, який зміст набуває закон збереження й перетворення енергії для процесів, пов'язаних зі зміною внутрішньої енергії тіл.

(Введення першого закону термодинаміки)

IV. Систематизація істотних ознак компонента.

– Запишіть перший закон термодинаміки в математичному вигляді. Який зміст записаних символів? Які межі застосування даного закону?

V. Розв'язування навчальної задачі.

Використовуючи перший закон термодинаміки, дамо відповідь на запитання, що поставлене перед початком вивчення даного закону.

(Розв'язується навчальна задача)

VI. Робота з результатом.

1. Розв'язуються останні дві задачі, вказані в завданні до підготовки до практичного заняття.

2. Розв'язуються якісні задачі.

3. Розв'язуються кількісні задачі.

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ 9

Розв'язування задач на перший закон термодинаміки і роботу теплової машини

Підготовка до заняття

1. Пригадати зміст понять: перший закон термодинаміки, принцип дії теплової машини.

2. Ознайомитися з методичними рекомендаціями щодо розв'язування задач із даної теми.

Задачі, у яких використовується перший закон термодинаміки, передбачають або застосування до конкретних ситуацій зв'язку між Q , ΔU , A , що встановлено цим законом, або обчислення окремих із зазначених величин.

У цих задачах використовуються рівняння стану газів, газові закони разом з уведенням під час вивчення основ термодинаміки наступними відомостями:

1. Внутрішня енергія одноатомного ідеального газу обчислюється за формулами: $U = \frac{3}{2}kTN = \frac{3}{2}kTvN_A = \frac{3}{2}\nu RT = \frac{3}{2}pV$.

Зміна внутрішньої енергії: $U = \frac{3}{2}\nu R\Delta T = \frac{3}{2}\Delta(pV)$.

2. Перший закон термодинаміки можна записати в такій формі:

$$\Delta U = A + Q, \quad \Delta U = Q - A', \quad Q = \Delta U + A'.$$

Розв'язуючи задачі даного типу, треба звернути увагу на ті процеси, що відбуваються в ідеальному газі, враховуючи закони ідеального газу і застосування першого закону термодинаміки до цих процесів.

Задачі, у яких розглядається тепла машина, передбачають використання, як правило, формул для ККД теплової машини:

$$\eta = \frac{A'}{Q}, \quad A' = Q_1 - Q_2, \quad \eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}, \quad \eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1}.$$

3. Ознайомитися з методами розв'язування окремих типів задач.

Задача. Одноатомний ідеальний газ за тиску $p_1 = 3 \cdot 10^5 \text{ Па}$ і температури $t_1 = 0^\circ\text{C}$ займає об'єм $V_1 = 2 \text{ л}$. Газ стискають без теплообміну з навколишнім середовищем, виконуючи при цьому роботу $A = 35 \text{ Дж}$. Визначити кінцеву температуру газу T_2 .

$T_2 = ?$ $p_1 = 3 \cdot 10^5 \text{ Па}$ $t_1 = 0^\circ\text{C}$ $V_1 = 2 \text{ л}$ $A = 35 \cdot 10^3 \text{ Дж}$	Теплообмін з навколишнім середовищем відсутній $Q = 0$. Отже, з першого закону термодинаміки випливає: $0 = \Delta U + A'$ або $\Delta U = -A'$. Газ виконує роботу над зовнішніми тілами A . Зміна внутрішньої енергії ΔU дорівнює різниці між її значеннями за температур T_1 і T_2 : $U_1 = \frac{3}{2} \frac{m}{M} RT_1$, $U_2 = \frac{3}{2} \frac{m}{M} RT_2$, $\Delta U = \frac{3}{2} \frac{m}{M} RT_1 - \frac{3}{2} \frac{m}{M} RT_2$.
--	---

Невідомо число молів газу $\nu = \frac{m}{M}$, яке можна визначити з рівняння Менделєва-Клапейрона $p_1 V_1 = \frac{m}{M} R T_1$.

$$\frac{m}{M} = \frac{p_1 V_1}{R T_1}, \quad \Delta U = \frac{3}{2} p_1 V_1 - \frac{3}{2} \frac{p_1 V_1}{T_1} T_2, \quad \frac{3}{2} p_1 V_1 - \frac{3}{2} \frac{p_1 V_1}{T_1} T_2 = -A.$$

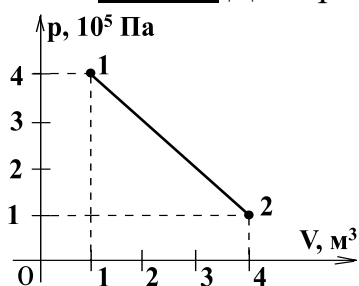
Отже, $T_2 = T_1 \left(1 + \frac{2A}{3p_1 V_1} \right)$, $T_2 \approx 284 \text{ K}$.

Задача. Газоподібний водень масою $m = 1 \text{ кг}$ за початкової температури $T_1 = 300 \text{ K}$ охолоджують ізохорно так, що його тиск падає в $n = 3$ рази. Потім газ розширюють за сталого тиску. Визначити виконану газом роботу, якщо в кінцевому стані його температура дорівнює початковій.

$A = ?$ $m = 1 \text{ кг}$ $T_1 = 300 \text{ K}$ $n = 3$ $T_3 = T_1$ $n = \frac{p_1}{p_2}$	У задачі розглядаються два процеси в ідеальному газі: ізохорне охолодження, ізобарне розширення. У першому процесі $A = 0$ ($V = \text{const}$). У другому процесі $A = \frac{m}{M} R (T_3 - T_2)$, де T_2 – кінцева температура у першому процесі й початкова температура у другому процесі $T_3 = T_1$. T_2 визначається із закону Шарля: $\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2} = n$. Звідси $T_2 = \frac{T_1}{n}$.
---	--

Отже, $A = \frac{m}{M} R \left(T_1 - \frac{T_1}{n} \right) = \frac{n-1}{n} \cdot \frac{m}{M} R T_1$, $A = 8,3 \cdot 10^5 \text{ Дж}$.

Задача. Для процесу з ідеальним одноатомним газом знайти: а) роботу, виконану газом під час розширення від стану 1 до стану 2; б) зміну внутрішньої енергії; в) кількість теплоти, надану газу.



Згідно першого закону термодинаміки $Q = \Delta U + A$.

Роботу, яку виконує газ, можна знайти такими способами: а) з формули, що виражає перший закон термодинаміки, якщо відомі Q і ΔU ; б) з формули для випадку ізобарного процесу: $A = p \Delta V = \frac{m}{M} \Delta R T$; в) враховуючи, що робота чисельно дорівнює площі фігури, обмеженої графіком процесу, ординатою (p) і абсцисою (V).

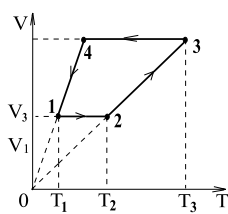
У даній задачі робота чисельно дорівнює площі трикутника, в якому гіпотенузою є графік процесу, а катетами відповідно $(p_2 - p_1)$ і $(V_2 - V_1)$.

Отже, $A = \frac{1}{2} (p_2 - p_1) (V_2 - V_1)$, де $p_1 = 4 \cdot 10^5 \text{ Па}$, $p_2 = 10^5 \text{ Па}$, $V_1 = 1 \text{ м}^3$, $V_2 = 4 \text{ м}^3$.
 $A = 450 \text{ Дж}$.

Зміна внутрішньої енергії ідеального газу у даному процесі дорівнює $\Delta U = U_2 - U_1 = \frac{3}{2} p_2 V_2 - \frac{3}{2} p_1 V_1 = 0$, адже $p_2 V_2 = p_1 V_1 = 4 \cdot 10^5 \text{ Па} \cdot \text{м}^3$.

Кількість теплоти, яка надана газу дорівнює $Q = \Delta U + A$, $Q = 450 \text{ Дж}$.

Задача. Газ здійснює круговий процес. Яка робота може бути виконана за один цикл під час процесу, якщо найнижча темпе-



ратура газу $t_1 = 0^\circ\text{C}$, а найвища $t_3 = 173^\circ\text{C}$? Об'єм газу за температури t_1 дорівнює $V_1 = 5\text{л}$, за температури t_3 – $V_3 = 6\text{л}$, а за нормальних умов газ займає об'єм A – ?

$$\begin{array}{|l} \hline n - ? \\ T_1 = 273\text{K} \\ T_3 = 446\text{K} \\ V_1 = 5 \cdot 10^{-3} \text{л}^3 \\ V_3 = 6 \cdot 10^{-3} \text{л}^3 \\ V_0 = 10^{-2} \text{л}^3 \\ T_0 = 273\text{K} \\ p_0 = 10^5 \text{Па} \end{array}$$

$$V_0 = 10\text{л}.$$

Процеси 1 – 2 і 3 – 4 ізохорні, тому робота газу на цих ділянках циклу дорівнює нулю.

Процеси 2 – 3 і 4 – 1 ізобарні. Тому робота на цих ділянках циклу дорівнює $A_1 = \frac{m}{M} R(T_3 - T_2)$, $A_2 = \frac{m}{M} R(T_1 - T_4)$.

$$V_1 = V_2, V_3 = V_4. \text{ Згідно закону Гей-Люссака } \frac{V_2}{T_2} = \frac{V_3}{T_3} \text{ і } \frac{V_1}{T_1} = \frac{V_4}{T_4}.$$

$$\text{Звідси } T_2 = \frac{V_1}{V_3} T_3, T_4 = \frac{V_3}{V_1} T_1.$$

Число молей визначимо, виходячи з рівняння стану газу за нормальних умов

$$p_0 V_0 = \frac{m}{M} R T_0, \quad \frac{m}{M} = \frac{p_0 V_0}{R T_0}.$$

$$\text{Отже, } A = A_1 + A_2 = \frac{p_0 V_0}{T_0} \left(T_3 - \frac{V_1}{V_3} T_3 + T_1 - \frac{V_3}{V_1} T_1 \right) = \frac{p_0 V_0}{T_0} \left(\frac{T_3}{V_3} - \frac{T_1}{V_1} \right) (V_3 - V_1). \quad A \approx 45 \text{ Дж}.$$

Задача. Теплова машина з максимально можливим ККД має як нагрівник резервуар з киплячою водою за температури $t_1 = 100^\circ\text{C}$, а як холодильник – посудину з льодом за температури $t_2 = 0^\circ\text{C}$. Яка маса льоду розтане, якщо машина виконає роботу $A = 10^6 \text{ Дж}$?

$$\begin{array}{|l} \hline m - ? \\ t_1 = 100^\circ\text{C} \\ t_2 = 0^\circ\text{C} \\ A = 10^6 \text{ Дж} \end{array}$$

Лід у холодильнику перебуває за температури його плавлення $T_2 = 273\text{K}$. Він плавитиметься за рахунок кількості теплоти Q_2 , що передається до холодильника $Q_2 = \lambda m$.

Кількість теплоти, що надана холодильнику, дорівнює різниці між кількістю теплоти, яке отримує робоче тіло від нагрівника, і роботою $Q_2 = Q_1 - A$. Максимальний коефіцієнт корисної дії теплової машини $\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$ або $\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \frac{A}{Q_1}$.

$$\text{Отже, } \frac{T_1 - T_2}{T_1} = \frac{A}{Q_1}, \quad \frac{T_1 - T_2}{T_1} = \frac{A}{Q_2 + A}, \quad \frac{T_1 - T_2}{T_1} = \frac{A}{\lambda m + A}, \quad m = \frac{A T_2}{\lambda (T_1 - T_2)}, \quad m = 8,2 \text{ кг}.$$

Задача. Результатом роботи теплової машини було підняття вантажу масою $m = 10\text{т}$ на висоту $h = 20\text{м}$. Відношення кількості теплоти, добутої за один цикл від нагрівника, до температури нагрівника $\frac{Q_1}{\dot{Q}_1} = 200 \frac{\text{Дж}}{\text{К}}$, різниця температур нагрівника і холодильника $\dot{Q}_1 - \dot{Q}_2 = 125 \text{ К}$. Скільки циклів здійснила машина за час піднімання вантажу? Вважати, що вся механічна робота машини витрачена на піднімання вантажу, а теплова машина – ідеальна.

$$\begin{array}{|l} \hline n - ? \\ m = 10\text{т} \\ h = 20\text{м} \\ \frac{Q_1}{\dot{Q}_1} = 200 \frac{\text{Дж}}{\text{К}} \\ T_1 - T_2 = 125\text{K} \end{array}$$

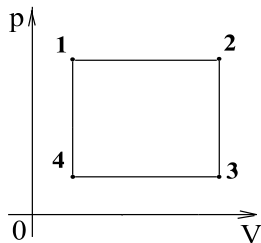
Якщо за один цикл машина виконує роботу A_1 , яка згідно умови задачі йде на піднімання вантажу, а вся робота A , то число циклів дорівнює $n = \frac{A}{A_1}$.

Робота з піднімання вантажу $A = mgh$. Машина ідеальна, тому $\eta = \frac{T_i - T_o}{T_i} = \frac{A_1}{Q_i}$. Звідси $A_1 = \frac{Q_i}{T_i} \cdot (T_i - T_o)$, $n = \frac{mgh}{\frac{Q_i}{T_i} \cdot (T_i - T_o)}$, $n = 80$.

4. Самостійно розв'язати задачі:

1. Газ, який здійснює цикл Карно в тепловій машині, віддає холодильнику 40% кількості теплоти, отриманої від нагрівника. Чому дорівнює при цьому температура нагрівника, якщо температура холодильника $t_x = 27^\circ\text{C}$?

(Відповідь: $T_i = \frac{T_x \cdot 100\%}{\eta}$, $T_i = 750\text{K}$)



2. Цикл ідеального газу складається з двох ізохор і двох ізобар. Визначити роботу A , виконану одним молем газу за цикл, якщо відомо, що точки 2 і 4 лежать на одній ізотермі, яка відповідає температурі T , а температури в точках 1 і 3 дорівнюють відповідно T_1 і T_2 .

(Відповідь: $A = R(T_1 + T_2 - 2T)$)

3. Гелій масою $m = 10\text{г}$ нагріли на $\Delta t = 100^\circ\text{C}$ за сталого тиску. Визначити кількість теплоти передану газу, приріст внутрішньої енергії і роботу з розширення газу.

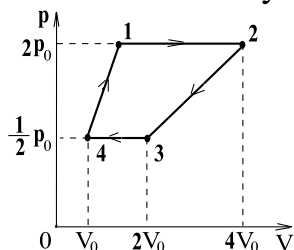
(Відповідь: $A = 2,08 \cdot 10^3 \text{ Дж}$, $\Delta U = 3,11 \cdot 10^3 \text{ Дж}$, $Q = 5,19 \cdot 10^3 \text{ Дж}$)

План заняття

I. Перевірка знання студентами: першого закону термодинаміки, принципу роботи теплової машини.

II. Колективний аналіз логіки розв'язування однієї з домашніх задач.

III. Розв'язування задач:



1. Один моль газу здійснює певний процес, проходячи послідовно стани 1, 2, 3, 4, 1. При цьому $V_1 = V_3 = 2V_0$, $V_4 = V_0$, $V_2 = 4V_0$, $p_1 = p_2 = 2p_0$, $p_3 = p_4 = \frac{1}{2}p_0$. Знайти роботу, виконану газом за цей цикл.

(Відповідь: $A = \frac{9}{4}p_0V_0$)

2. Моль ідеального газу із стану з температурою $T = 100\text{K}$ ізобарно розширюється, а потім ізохорно переходить у стан з початковою температурою. У скільки разів при цьому змінився об'єм газу, якщо для переведення газу з початкового стану в кінцевий до нього підвели кількість теплоти $Q = 831\text{Дж}$?

(Відповідь: $\frac{V_2}{V_1} = 1 + \frac{Q}{RT}$, $\frac{V_2}{V_1} = 2$)

3. Яку максимальну роботу може виконати ідеальний двигун, якщо він у кожному циклі отримує кількість теплоти $Q = 10^3 \text{ Дж}$ від нагрівника з температурою $T_i = 1000\text{K}$? Температура навколишнього середовища (холодильника) $t_x = 20^\circ\text{C}$.

(Відповідь: $A_{\text{max}} = \frac{T_i - T_x}{QT_i}$, $A_{\text{max}} = 707 \text{ Дж}$)

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ 10
Контрольна робота

Використана література.

1. Атаманчук П.С., Криськов А.А., Мендерецький В.В. Збірник задач з фізики. – К.: Школяр, 1996. – 304с.
2. Балаш В.А. Задачи по физике и методы их решения: Пособие для учителя. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Просвещение, 1983. – 432с.
3. Гольдфарб Н.К. Сборник вопросов и задач по физике. Учеб. пособие для поступающих во втузы, 4-е изд. – М.: Высшая школа, 1975. – 368с.
4. Гончаренко С.У. Збірник задач і запитань з фізики: Навч. посібник для 9-11 кл. загальноосвіт. навч. закладів. – К.: Освіта, 2004. – 383с.
5. Гончаренко С.У. Фізика: Пробн. навч. посібник для ліцеїв та класів природничо-наукового профілю. 10 клас. – К.: Освіта, 1995. – 430с.
6. Дмитренко Г.В., Козлова Н.Л. Физика. Механика. Молекулярная физика и теплота. Изд. 2-е. – К.: Вища школа, 1976. – 384с.
7. Дущенко В.П., Кучерук І.М. Загальна фізика: Фізичні основи механіки: Молекулярна фізика і термодинаміка: Навчальний посібник. – 2-ге видання, перероб. і допов. – К.: Вища школа, 1993. – 431с.
8. Методика преподавания физики в средней школе: Молекулярная физика. Электродинамика: Пособие для учителя /С.Я.Шамаш, Э.Е.Эвенчик, В.А.Орлов и др.; Под ред. С.Я.Шамаша – 2-е изд.; перераб. – М.: Просвещение, 1987. – 256с.
9. Методика преподавания физики в средней школе: Частные вопросы: Учеб. пособие для студентов пед. ин-тов по физ.-мат. спец. /С.В.Анофрикова, М.А.Бобкова, Л.А.Бордонская и др.; Под.ред. С.Е.Каменецкого, Л.А.Ивановой. – М.: Просвещение, 1987. – 336с.
10. Мякишев Г.Я., Буховцев Б.Б. Физика: Учебник для 10 кл. сред. шк. – М.: Просвещение, 1990. – 233с.
11. Научные основы школьного курса физики /Под ред. С.Я.Шамаша, Э.Е.Эвенчика. – М.: Педагогика, 1985. – 240с.
12. Преподавание физики и астрономии в средней школе по новым программам. Пособие для учителей. Под ред. Л.И.Резникова. – М.: Просвещение, 1970.

– 336с.

13. Путилов К.А. Курс физики – Т.1. – Механика. Акустика. Молекулярная физика. Термодинамика. – Изд. 9-е, перераб. – М.: Гос. изд. физ.-мат. лит-ры, 1959. – 560с.

14. Рымкевич А.П. Сборник задач по физике для 8-10 классов средней школы. – 12-е изд. – М.: Просвещение, 1988. – 191с.

15. Савельев И.В. Курс общей физики. Т.1. Механика, колебания и волны, молекулярная физика. – М.: Изд. "Наука", Гл. ред. физ.-мат. лит-ры, 1973. – 336с.

16. Свитков Л.П. Термодинамика и молекулярная физика. Факультативный курс. Пособие для уч.-ся. – М.: Просвещение, 1971. – 191с.

17. Смородинский Я.А. Температура. – М.: Глав. редакция физ.-мат. литературы, 1981. – 160с. (Библиотечка "Квант". Вип.12).

18. Фізика. Астрономія. Програми для загальноосвітніх навчальних закладів. 7-12 класи. Мін. освіти і науки України. – Київ, Ірпінь, 2005. – 80с.

19. Физический энциклопедический словарь /Гл. ред. А.М.Прохоров. Ред. кол. Д.М.Алексеев, А.М.Бонч-Бруевич, А.С.Боровик-Романов и др. – М.: Сов. энциклопедия, 1984. – 944с.

20. Фриш С.Э., Тиморева А.В.. Курс общей физики. Т.1. Физические основы механики. Молекулярная физика. Колебания и волны. Изд. 5-е, исправл. – М.: Гос. изд. техн.-теор. лит-ры, 1953. – 463с.

21. Шахмаев Н.М. и др. Физика: Учебник для 10кл. сред. шк. /Н.М.Шахмаев, С.Н.Шахмаев, Д.Ш.Шодиев. – М.: Просвещение, 1991. – 240с.

22. Шебалин О.Д. Молекулярная физика: Учеб. пособие для пединститутов. – М.: Высш. школа, 1978. – 167с.

23. Яворський Б.М., Детлаф А.А., Милковська Л.Б., Сергєєв Г.П. Курс фізики –Т.1. – К.: Вища школа, 1970. – 356с.

24. Яворский Б.М. Основные вопросы современного школьного курса физики: Пособие для учителя. – М.: Просвещение, 1980. – 320с.

25. Яковлев В.Ф. Курс физики. Теплота и молекулярная физика. Учебное пособие для студентов физ.-мат. фак. пед. ин-тов. – М.: Просвещение, 1976. – 320с.