

ПЛАН-КОНСПЕКТ ПРОВЕДЕННЯ

ЛЕКЦІЙНОГО ЗАНЯТТЯ №8

МОДУЛЬ 1.

ТЕМА 1.4. ОСНОВИ ТЕРМОДИНАМІКИ.

Заняття 1. Перший закон термодинаміки.

Навчальна дисципліна: Фізика

Категорія здобувачів вищої освіти: курсанти та студенти.

Навчальна мета: оволодіти знаннями про основні закони термодинаміки.

Виховна мета: сприяти підвищенню рівня знань про основні форми руху матерії, формуванню наукового світогляду.

Розвивальна мета: розвивати інтелектуальні здібності, пам'ять, увагу, уяву, мислення, спостережливість, активність, творчість, самостійність здобувачів вищої освіти, прищеплювати їм раціональні способи пізнавальної діяльності з зазначеної теми.

Кількість аудиторних годин: 2 години.

Навчальне обладнання, ТЗН: відеопроєктор, комп'ютерна техніка та відповідне програмне забезпечення.

Наочні засоби: наочність викладення матеріалу забезпечується використанням схем, таблиць та мультимедійним супроводженням окремих питань теми.

Міжпредметні та міждисциплінарні зв'язки: Дисципліна "Фізика" зв'язана з дисципліною "Вища математика" та в ряді інших є основою для вивчення дисциплін загальної підготовки: «Хімія», «Технічна механіка», «Матеріалознавство та технологія матеріалів», «Технічна механіка рідини та газу», а також дисциплін циклу професійної підготовки: «Термодинаміка та теплопередача», «Електротехніка та пожежна профілактика в електроустановках», «Пожежна та виробнича автоматика», «Будівлі й споруди та їх поведінка в умовах пожежі», які викладаються як правило пізніше. Знання з дисципліни «Фізика» та одержані навички й уміння дозволяти створити якісну базу для вивчення теоретичних і практичних питань вказаних дисциплін.

План лекції (навчальні питання):

1.4.1 Основні поняття термодинаміки. Стани і процеси.

1.4.2. Внутрішня енергія макросистеми та ідеального газу, робота та кількість теплоти.

1.4.3. Перший закон термодинаміки та його застосування для різних процесів. Теплоємність ідеального газу.

1.4.4. Цикли. Теплова машина. ККД теплової машини . Цикл Карно та його ККД.

Список рекомендованих джерел:

Основні джерела

1. Кучерук І.М. та ін. Загальний курс фізики. Т. 1. – Київ: Техніка, 1999.

2. Савельев И. В. Курс общей физики. Т. 1-4. М. : КноРус, 2009.

3. Горбачук І.Т. Загальна фізика (збірник задач). Київ: Вища школа, 1993.

4. Волькенштейн В. С. Сборник задач по общему курсу физики. М.: Профессия, 2010.

5. Фізика. Розділи: Механіка. Молекулярна фізика і термодинаміка. Електростатика. Постійний електричний струм: довідник / Укладачі: В. Г. Борисенко, Ю.Ф. Деркач, В.І. Кривцова, К.Р. Умеренкова. – Х.: НУЦЗУ, 2018. – 94 с.

6. Фізика. Розділи: Магнітне поле. Електромагнетизм. Коливання, хвилі і хвильові явища. Елементи квантової механіки. Фізика атома і атомного ядра. Елементи фізики твердого тіла: довідник./ Укладачі: В. Г. Борисенко, Ю.Ф. Деркач, В.І. Кривцова, К.Р. Умеренкова. – Х.: НУЦЗУ, 2018. – 122 с.

Додаткові джерела

7. Яворский Б.М., Детлаф А.А., Лебедев А.К. Справочник по физике. М. : Мир и образование., 2006.

ТЕКСТ ЛЕКЦІЇ

1.4.1. Основні поняття термодинаміки. Стани і процеси.

Термодинамічний стан системи задається фізичними величинами, які характеризують макроскопічне тіло *в цілому*. Такі величини називаються *термодинамічними параметрами*. Основними термодинамічними параметрами системи є: тиск P , температура T , об'єм V , маса m , молярна маса μ .

Тиском називається перпендикулярна складова сили, яка діє на одиницю площі поверхні:

$$P = \frac{F_n}{S}, \quad (1.4.1.1)$$

де S – площа поверхні, F_n – перпендикулярна складова сили, що діє на цю поверхню.

Температура T – це фізична величина, яка є мірою середньої кінетичної енергії теплового руху молекули. Докладніше про це буде сказано далі.

Молярною масою μ називається маса одного *моля* речовини. Моль – це кількість речовини в грамах, яка чисельно дорівнює її відносній атомній (або молекулярній) масі. Наприклад, для кисню (O_2) $\mu = 32$ г/моль, для водню (H_2) $\mu = 2$ г/моль, для води (H_2O) $\mu = 18$ г/моль і т.д. В одному молі будь-якої речовини міститься однакова кількість атомів (молекул) $N_0 = 6,022 \cdot 10^{23} \frac{1}{\text{моль}}$, названа числом Авогадро.

Розрізняють стани системи рівноважний і нерівноважний. *Рівноважним станом системи* (або *станом термодинамічної рівноваги*) називається такий стан, за якого всі термодинамічні параметри системи мають певні значення, які не змінюються в часі (при незмінних зовнішніх умовах).

Будь-який перехід системи з одного стану в інший називається *термодинамічним процесом*. При цьому відбувається зміна термодинамічних параметрів системи, тобто має місце порушення рівноважного стану. Але якщо параметри системи змінюються досить повільно, то можна приблизно вважати, що в кожний момент часу система перебуває в стані термодинамічної рівноваги і такий процес називається *рівноважним*. Далі будуть розглядатися саме такі процеси.

1.4.2. Внутрішня енергія макросистеми та ідеального газу.

Внутрішня енергія є найважливішим поняттям термодинаміки. Внутрішня енергія дорівнює сумі кінетичних енергій молекул, що складають систему, і потенційної енергії взаємодії молекул між собою. Внутрішня енергія є *функцією стану* системи. Це означає, що в даному стані внутрішня енергія має певне значення незалежно від того, як система прийшла в цей стан.

В *ідеальному газі* внутрішня енергія визначається лише кінетичною енергією теплового руху молекул і дорівнює

$$U = \frac{i}{2} \frac{m}{\mu} RT, \quad (1.4.2.1)$$

де m й μ – маса і молярна маса газу відповідно, T – його абсолютна температура, i – число ступенів вільності молекули (при незначних температурах для одноатомного газу $i = 3$, двоатомного – $i = 5$, трьохатомного – $i = 6$).

Змінити енергію системи можливо двома способами – виконанням роботи і теплообміном.

Елементарна робота супроводжується зміною об'єму системи і дорівнює

$$\delta A = PdV, \quad (1.4.2.2)$$

де P – тиск у системі, dV – зміна її об'єму. Робота розширення системи від об'єму V_1 , до об'єму V_2 дорівнює сумі елементарних робіт, тобто

$$A = \int_{V_1}^{V_2} PdV. \quad (1.4.2.3)$$

Робота вважається додатною ($A > 0$), якщо система виконує роботу над зовнішніми тілами, і від'ємною ($A < 0$), якщо зовнішні сили виконують роботу над системою. За *геометричним змістом* робота дорівнює (рис. 1.4.2.1) площі фігури під графіком процесу в координатах (P, V).

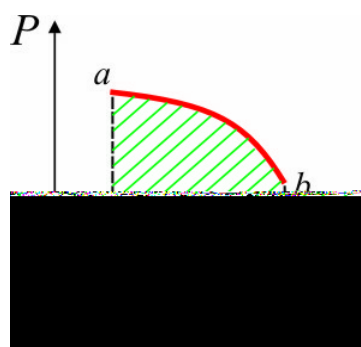


Рис. 1.4.2.1

Кількість теплоти. При контактi двох тіл, які мають різні температури, у результаті зіткнень молекул відбувається передача енергії від більш нагрітого тіла до менш нагрітого без виконання роботи. Цей процес називається *теплообміном*. Кількість енергії, яка передається тілу (системі) шляхом теплообміну, називається *кількістю теплоти* Q . Якщо система одержує тепло,

то кількість теплоти вважається додатною $Q > 0$, якщо система віддає тепло, то кількість теплоти вважається від'ємною $Q < 0$.

Зауважимо, що робота і кількість теплоти є *функціями процесу*, тобто залежать від того як відбувається перехід системи з одного стану в інший.

1.4.3. Перший закон термодинаміки. Теплоємність

Термодинаміка базується на двох законах, одержаних у результаті узагальнення великої кількості експериментальних фактів.

Перший закон термодинаміки встановлює кількісні співвідношення, які мають місце при перетвореннях енергії в термодинамічних системах, і є відображенням закону збереження енергії.

Перший закон термодинаміки: кількість теплоти δQ , яка отримана системою, витрачається на збільшення її внутрішньої енергії dU і на виконання системою роботи δA , тобто

$$\delta Q = dU + \delta A. \quad (1.4.3.1)$$

Теплоємність. Це фізична величина, яка описує процеси теплового обміну. Теплоємність тіла (системи) чисельно дорівнює кількості теплоти, яку необхідно передати тілу, щоб підвищити його температуру на один градус

$$C = \frac{\delta Q}{dT}, \quad (1.4.3.2)$$

де δQ – кількість теплоти, що отримана тілом при підвищенні його температури на dT градусів.

Теплоємність одного моля речовини називається *молярною теплоємністю*:

$$c = \frac{C}{\nu} = \frac{1}{\nu} \frac{\delta Q}{dT}, \quad (1.4.3.3)$$

де $\nu = m/\mu$ – кількість молів речовини в складі тіла (системи).

Теплоємність одиниці маси речовини називається *питомою теплоємністю*:

$$c_{num} = \frac{C}{m} = \frac{1}{m} \frac{\delta Q}{dT}, \quad (1.4.3.4)$$

де m – маса тіла (системи).

Величина теплоємності залежить від процесу, при якому відбувається тепловий обмін. Найбільш важливими є теплоємності при постійному об'ємі c_V і постійному тиску c_p . Для ідеального газу молярна теплоємність c_V дорівнює

$$c_v = \frac{i}{2} R, \quad (1.4.3.5)$$

а молярна теплоємність c_p

$$c_p = c_v + R, \quad (1.4.3.6)$$

де i – число ступенів вільності молекули. У твердих тілах теплоємності c_v і c_p практично збігаються $c_p \approx c_v$. При цьому в будь-яких системах теплоємність при постійному тиску завжди більше, ніж теплоємність при постійному об'ємі: $c_p > c_v$.

1.4.4. Другий закон термодинаміки. Теплові машини

Оборотні і необоротні процеси. *Оборотним* називається процес, який може бути проведений у зворотному напрямку таким чином, що система повертається в початковий стан через ті ж самі проміжні стани, що й у прямому процесі. При цьому після повернення системи в початковий стан у тілах, які оточують систему, не повинне залишитися ніяких змін. Оборотними можуть бути лише рівноважні процеси

Необоротним називається процес, який не може бути проведений у зворотному напрямку без змін або в самій системі, або в тілах, які її оточують. Усі реальні процеси є необоротними. Прикладами необоротних процесів є:

1. Спонтанна передача тепла (внутрішньої енергії) від більш нагрітого тіла до менш нагрітого. Зворотний процес сам по собі не відбувається.

2. Розширення газу в порожнечу. При цьому молекули спонтанно займають увесь наданий їм об'єм. Але самі по собі молекули не можуть одночасно зібратися в одній частині посудини і утворити вакуум в іншій частині.

3. Нагрівання тіл під дією сил тертя. Просте нагрівання цих тіл не може змусити їх рухатися у зворотному напрямку.

Характерною ознакою необоротних процесів є те, що в ході таких процесів система наближається до стану термодинамічної рівноваги.

Другий закон термодинаміки визначає можливі напрямки термодинамічних процесів. Його сутність така: *замкнена система спонтанно переходить із нерівноважного стану в рівноважний*. Другий закон термодинаміки має імовірнісний характер і виконується тим точніше, чим більше частинок у системі. У той же час в окремих частинах системи з досить малим числом частинок можливі відхилення від рівноважного стану. Такі відхилення називаються *флуктуаціями*.

Теплова машина – періодично діючий пристрій, призначений для перетворення теплової енергії в механічну роботу. Для того, щоб машина працювала безупинно, у ній повинні відбуватися кругові процеси. *Круговим*

процесом (або циклом) називається такий процес, внаслідок якого система повертається в початковий стан (рис. 1.4.4.1).

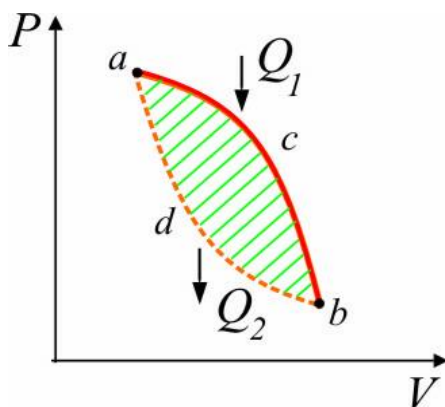


Рис. 1.4.4.1

Речовина, за допомогою якої здійснюється круговий процес і відбувається обмін енергією з іншими тілами, називається *робочим тілом* (робочою речовиною). На етапі розширення (ділянка *acb*) робоча речовина одержує від зовнішнього *нагрівача* кількість теплоти Q_1 і виконує позитивну роботу. На етапі стиснення (ділянка *bda*) робоча речовина виконує негативну роботу. При цьому система повинна віддавати зовнішньому *холодильнику* певну кількість теплоти Q_2 . Це необхідно для того, щоб процес стиснення відбувався при більш низькій температурі і на етапі стиснення виконувалася менша робота, ніж на етапі розширення. Результуюча робота буде дорівнювати площі циклу на рис. 1.4.4.1. Оскільки при поверненні в початковий стан внутрішня енергія системи не змінилася ($\Delta U = 0$), то, згідно з першим законом термодинаміки (1.4.3.1), виконана тепловою машиною робота дорівнює

$$A = Q_1 - Q_2. \quad (1.4.4.1)$$

Коефіцієнт корисної дії (ККД) теплової машини дорівнює

$$\eta = \frac{A}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}. \quad (1.4.4.2)$$

Максимальний коефіцієнт корисної дії досягається в тепловій машині, у якій відбуваються тільки оборотні процеси. З найбільшою ефективністю ці процеси реалізуються у так званому *циклі Карно*. Цей цикл складається із двох ізотермічних (*ab* і *cd*) і двох адіабатичні (*bc* і *da*) процесів (рис. 1.4.4.2).

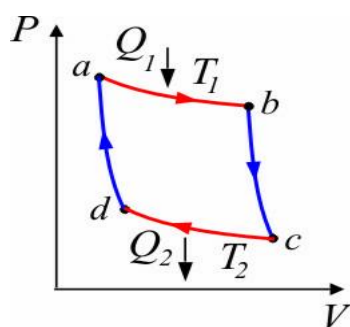


Рис.1.4.4.2

Ізотермічне розширення відбувається при температурі нагрівача T_1 , а ізотермічне стиснення відбувається при температурі холодильника T_2 . За допомогою адіабатичних процесів здійснюється перехід від однієї ізотерми до іншої. Коефіцієнт корисної дії циклу Карно є максимально можливим для теплових машин при даних значеннях температур нагрівача й холодильника

$$\eta_{\max} = \frac{T_1 - T_2}{T_1} \quad (1.4.4.3)$$

Якщо теплову машину запустити у зворотному напрямку, то вона буде працювати як *холодильна машина*. У такому випадку вона відбирає тепло Q_2 від менш нагрітого тіла й передає тепло Q_1 більш нагрітому тілу. Але такий процес здійснюється за рахунок механічної роботи A , яку зовнішні тіла виконують над робочим тілом.

Стосовно теплових машин *другий закон термодинаміки* можна сформулювати в іншому, еквівалентному вигляді: *неможливий такий круговий процес, єдиним результатом якого було б виконання роботи за рахунок охолодження навколишніх тіл*. Якби такий процес міг відбутися, то можливо було б створити машину, яка виконувала б роботу за рахунок охолодження навколишнього середовища (земної кори, океану, атмосфери), тобто за рахунок практично невичерпних джерел енергії. Таку машину називають вічним двигуном другого роду, а другий закон термодинаміки свідчить про неможливість її створення.