

**МІНІСТЕРСТВО ВНУТРІШНІХ СПРАВ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ВНУТРІШНІХ СПРАВ
КРЕМЕНЧУЦЬКИЙ ЛЬОТНИЙ КОЛЕДЖ**

**Циклова комісія економіки, соціально-гуманітарних та
фундаментальних дисциплін**

ТЕКСТ ЛЕКЦІЇ

**з навчальної дисципліни «Фізика»
обов'язкових компонент
освітньо-професійної програми
першого (бакалаврського) рівня вищої освіти**

**272Авіаційний транспорт
Оператор безпілотних літальних апаратів**

за темою - Основи термодинаміки

Кременчук 2023

ЗАТВЕРДЖЕНО

Науково-методичною радою
Харківського національного
університету внутрішніх справ
Протокол від 22.02.2024 №2

СХВАЛЕНО

Методичною радою
Кременчуцького льотного
коледжу Харківського
національного
університету внутрішніх справ
Протокол від 17.01.2024 №6

ПОГОДЖЕНО

Секцією науково-методичної ради
ХНУВС з гуманітарних та соціально-
економічних дисциплін
Протокол від 22.02.2024 №2

Розглянуто на засіданні циклової комісії економіки, соціально-гуманітарних та фундаментальних дисциплін, протокол від 05.01.2024 №14

Розробник:

Викладач циклової комісії економіки, соціально-гуманітарних та фундаментальних дисциплін, Пузир М.С.

Рецензенти:

- 1.Доцент кафедри автомобілів та тракторів Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського, кандидат технічних наук, доцент Черниш А.А.*
- 2.Начальник відділу організації наукової роботи та гендерних питань КЛК ХНУВС, к.т.н., спеціаліст вищої категорії, викладач-методист Власов С.І.*

План лекції

- 1 Внутрішня енергія.
- 2 Зміна внутрішньої енергії тіла.
- 3 Закон збереження і перетворення при теплових і механічних процесах.
- 4 Застосування першого закону термодинаміки.
- 5 Адіабатний процес.
- 6 Необоротність теплових процесів.
- 7 Принцип дії теплових двигунів.
- 8 Цикл Карно. ККД теплової машини Карно.

Рекомендована література:

Основна

1. Дмитрієва В. Ф. Фізика : навчальний посібник / В. Ф. Дмитрієва. – К.: Техніка, 2008. – 608 с.

Додаткова

2. Курс фізики : навчальний посібник / [Зачек І. Р., Кравчук І. М., Романишин Б. М., Габа В. М., Гончар Ф. М.]. – Львів : Видавництво «Бескид Біт», 2002. – 376 с.
3. Волков О. Ф. Курс фізики ; у 2-х т. – Т.1: Фізичні основи механіки. Молекулярна фізика і термодинаміка. Електростатика. Постійний струм. Електромагнетизм : навчальний посібник для студентів інженерно-технічних спеціальностей вищих навчальних закладів / О. Ф. Волков, Т. П. Лумпієва. – Донецьк : ДонНТУ, 2009. – 224 с.
4. Волков О. Ф. Курс фізики ; у 2-х т. – Т.2: Коливання і хвилі. Хвильова і квантова оптика. Елементи квантової механіки. Основи фізики твердого тіла. Елементи фізики атомного ядра : навчальний посібник для студентів інженерно-технічних спеціальностей вищих навчальних закладів / О. Ф. Волков, Т. П. Лумпієва. – Донецьк: ДонНТУ, 2009. – 208 с.
5. Збірник задач з фізики : навчальний посібник / [Лопатинський І. Є., Зачек І. Р., Серeda В. М., Крушельницька Т. Д., Українець Н. А.]. – Львів : Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2003. – 124с.

Текст лекції

1. Внутрішня енергія.

Термодинаміка — теорія теплових процесів, у яких не враховується молекулярна будова, а теплові явища описуються макроскопічними параметрами і реєструються приладами.

Термодинамічна система – це сукупність макроскопічних тіл, які взаємодіють і обмінюються енергією між собою і навколишнім середовищем

(тілами, що не входять до даної системи).

Термодинамічна рівновага — стан системи, у якому вона може перебувати досить довго; стан системи, який характеризується незмінними у часі параметрами стану (P, V, T).

У середині XIX ст. було доведено, що поряд із механічною енергією макроскопічні тіла мають ще й **внутрішню**, яка повинна входити в баланс енергетичних перетворень у природі. Наприклад, нехай на свинцевій плиті лежить свинцева куля. Підніmemo кулю вгору і відпустимо. Коли ми кулю підняли, то надали їй потенціальної енергії. Під час падіння потенціальна енергія переходить у кінетичну, бо зменшується висота і збільшується швидкість кулі. Коли куля впала на плиту, то її кінетична і потенціальна енергія дорівнюють нулю. Та помітно, що після удару плита і куля деформувалися. Вимірявши відразу після удару температуру кулі і плити, можна виявити, що вони нагрілися. Але з нагріванням збільшується швидкість руху молекул, тобто їх кінетична енергія. Збільшилась і потенціальна енергія молекул внаслідок деформації. Отже, потенціальна енергія, яку мала на початку досліду куля, перейшла в енергію молекул.

Внутрішня енергія тіла — сума кінетичної енергії теплового (хаотичного) руху молекул тіла та потенціальної енергії їх взаємодії. Практика і наукові дослідження переконують, що **зміна внутрішньої енергії** може відбуватись в результаті виконання **роботи** або внаслідок теплопередачі.

Оскільки потенціальна енергія взаємодії молекул (відповідно до моделі) дорівнює нулю, то внутрішня енергія ідеального газу дорівнює сумі кінетичних енергій молекул.

$$U = N \cdot E = \nu N \cdot \frac{3}{2} kT = \frac{m}{M} N \cdot \frac{3}{2} kT = \frac{3}{2} \frac{m}{M} RT = \frac{3}{2} PV$$

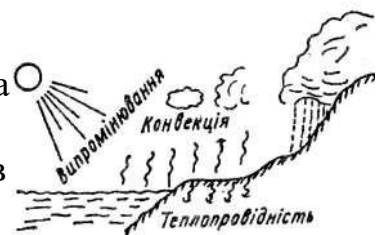
2. Зміна внутрішньої енергії тіла.

Зміна внутрішньої енергії може відбуватися двома незалежними шляхами — виконанням над тілом механічної роботи та в результаті процесу теплопередачі.

Зміна внутрішньої енергії при теплопередачі

Способи теплопередачі:

1. **Теплопровідність** — обмін енергією між частинами тіла або тілами, що перебувають у безпосередньому контакті (за рахунок взаємодії молекул).
2. **Конвекція** — перенесення енергії потоками рідин або газів (можлива тільки у полі тяжіння за рахунок сил Архімеда, що діють на нагріту рідину, яка має меншу густину внаслідок теплового розширення).
3. **Випромінювання** — перенесення енергії електромагнітними хвилями.



Енергію, яку передано тілу (чи відібрано від нього) внаслідок теплопередачі, називають кількістю теплоти Q .

$$\Delta U = Q$$

Формули для розрахунку кількості теплоти при:

1. **нагріванні і охолодженні тіл:** $Q = cm(t_2 - t_1) = cm(T_2 - T_1)$,

де m - маса речовини, c - питома теплоємність, $[c] = \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{K}}$, t_1 і t_2 -

початкова і кінцева температура в $^{\circ}\text{C}$, T_1 і T_2 - температура в кельвінах.

2. **плавленні і твердненні речовин:** $Q = \pm \lambda m$,

де m - маса речовини, λ - питома теплота плавлення, $[\lambda] = \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$.

3. **пароутворенні і конденсації:** $Q = \pm rm$,

де m - маса речовини, r - питома теплота пароутворення, $[r] = \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$.

4. **згорянні речовини:** $Q = qm$,

де m - маса речовини, q - питома теплота згорання палива, $[q] = \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$.

Зміна внутрішньої енергії при виконанні роботи

Механічна робота (подолання тертя, деформація, дроблення тіл тощо): $\Delta U = A$,

$$A = FS \cos \alpha.$$

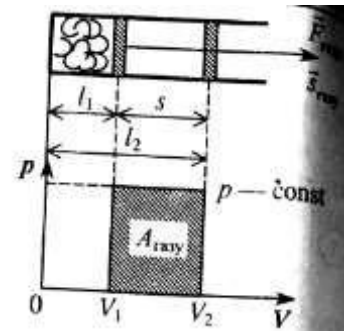
Робота в термодинаміці:

1. *при ізобарному розширенні газу*

$$A_{\text{газу}} = F_{\text{газу}} S \cos \alpha$$

$$F_{\text{газу}} = PS, \text{ де } S = \Delta l = l_2 - l_1.$$

$$\text{Отже, } A_{\text{газу}} = PS \Delta l = P \Delta V = P(V_2 - V_1)$$

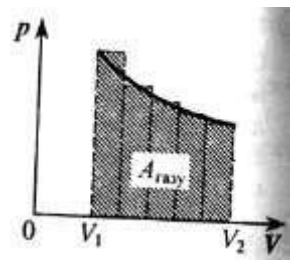


Робота чисельно дорівнює площі під графіком.

2. *при ізохорному процесі:* $A_{\text{газу}} = 0$

3. *довільний процес розширення газу можна зобразити як сукупність послідовних ізобарних та ізохорних процесів*

$$A_{\text{газу}} = S_{\text{крив.трап.}}$$



3. Закон збереження і перетворення при теплових і механічних процесах.

У середині XIX ст. дослідним шляхом був сформульований закон збереження енергії: **Енергія у природі не виникає з нічого і не зникає; кількість енергії незмінна, вона лише переходить з однієї форми в іншу.**

Закон збереження енергії, поширений на теплові явища, називають **першим законом термодинаміки**. Він враховує механічну взаємодію та теплообмін з навколишнім середовищем.

Перший закон термодинаміки

$\Delta U = Q + A$ <p>Зміна внутрішньої енергії ΔU системи дорівнює сумі роботи A, виконаної над системою зовнішніми силами, і наданої їй кількості теплоти Q.</p>	або	$Q = \Delta U + A', \text{ бо } A' = -A$ <p>Кількості теплоти Q, що надана системі, йде на збільшення її внутрішньої енергії ΔU і виконано системою роботи A' проти зовнішніх сил.</p>
---	-----	---

4. Застосування першого закону термодинаміки.

№ п/ п	Процес зміни стану газу	Одержана кількість	Здійснена газом робота	Зміна внутрішньої	I закон термодинаміки	
					Форма запису	Формулювання
1	Ізохорний $V = \text{const}$	$Q > 0$	$A' = 0$	$\Delta U > 0$	$Q = \Delta U$	Передана газу кількість теплоти перетворюється у його внутрішню енергію
2	Ізотермічне розширення $T = \text{const}$	$Q > 0$	$A' > 0$	$\Delta U = 0$	$Q = A'$	Передана газу кількість теплоти витрачається на виконання роботи
3	Ізобарне розширення $P = \text{const}$	$Q > 0$	$A' > 0$	$\Delta U > 0$	$Q = \Delta U + A'$	Передана газу кількість теплоти йде на зміну внутрішньої енергії і виконання роботи
4	Адіабатне розширення $Q = \text{const}$	$Q = 0$	$A' > 0$	$\Delta U < 0$	$A' = -\Delta U$	Під час розширення газу виконується робота за рахунок його внутрішньої енергії

5. Адіабатний процес.

Адіабатний процес — це процес без теплообміну із зовнішнім середовищем (система або теплоізована, або процес дуже швидкий).

Умови здійснення процесу:

1. Необхідна адіабатна оболонка, теплопровідність якої дорівнює нулю — **посудина Дьюара** (подвійні посріблені стінки, між якими відкачане повітря);
2. **При швидкому стисненні** газу теплота не встигає поширитися по даному об'єму;
3. Здійснити процес **в дуже великих об'ємах газу**, наприклад в атмосфері. Якщо в атмосфері відбувається зменшення тиску — розрідження, яке виникає внаслідок атмосферної діяльності, то кількість теплоти, яка повинна бути передана із навколишнього простору для того, щоб вирівняти температуру, яка понизилася внаслідок адіабатичного розширення, просто не встигне поширитися впродовж значного проміжку часу.

Приклади: стиск повітря в дизельному двигуні, розширення пари шампанського вина при вильоті корка, розширення нагрітого повітря при підніманні у верхні шари атмосфери.

6. Необоротність теплових процесів.

Повний перехід кількості теплоти, яку дістає система, в механічну роботу неможливий. Численні досліди показують, що частина енергії розсіюється, тобто частина кількості теплоти передається від більш нагрітого тіла (нагрівника) до менш нагрітого.

Отже, **неможливий процес, єдиним результатом якого було б перетворення всієї теплоти, одержаної від нагрівника, в еквівалентну їй роботу.** (Формулювання *II закону термодинаміки* за М. Планком).

Неможливо побудувати такий двигун, робоче тіло якого, здійснюючи періодичний процес, виконувало б роботу за рахунок охолодження певного джерела теплоти (наприклад, води в океані, земної кори тощо).

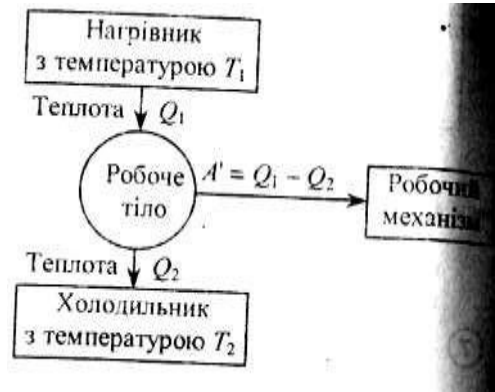
Теплові процеси необоротні. Теплота не може переходити сама по собі від тіла менш нагрітого до тіла більш нагрітого. (Формулювання *II закону термодинаміки* за К. Клаузіусом).

Якби відніманням теплоти і перетворенням її в роботу вдалося б понизити температуру всієї океанської води на 0,1 К, то можна було б приводити в рух усі машини і верстати на Землі продовж 1500 років. Така машина називалася б вічним двигуном другого роду, на відміну від вічного двигуна першого роду, який повинен створювати роботу з нічого, без затрат енергії.

7. Принцип дії теплових двигунів.

Тепловий двигун – це машина, що перетворює внутрішню (теплову) енергію палива у механічну.

Енергія, що виділяється у нагрівнику (за рахунок хімічної реакції, ядерного розпаду тощо), передається робочому тілу, (газу), яке, розширюючись, виконує механічну роботу. Для того, щоб двигун працював циклічно, газ стискається, віддаючи теплоту холодильнику (навколишньому середовищу).



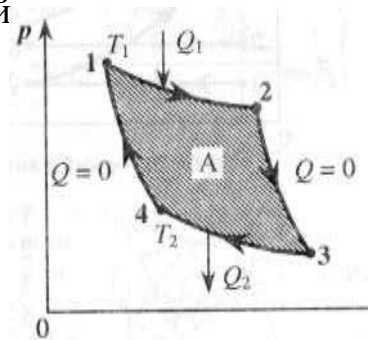
Процеси, в результаті яких газ повертається у вихідний стан, називаються **круговими** або **циклічними**.

8. Цикл Карно. ККД теплової машини Карно.

Цикл Карно (французький інженер, 1796—1832)

З усіх теплових машин, які працюють з нагрівником, що має температуру T_1 і холодильником, що має температуру T_2 , найбільший коефіцієнт корисної дії має теплова машина, що працює за оборотним циклом Карно, якій складається з двох ізотерм ($1 \rightarrow 2$, $3 \rightarrow 4$) та двох адіабат ($2 \rightarrow 3$, $4 \rightarrow 1$).

Стадії $1 \rightarrow 2$, $2 \rightarrow 3$ – робочі, а $3 \rightarrow 4$, $4 \rightarrow 1$ – допоміжні.



ККД теплового двигуна:

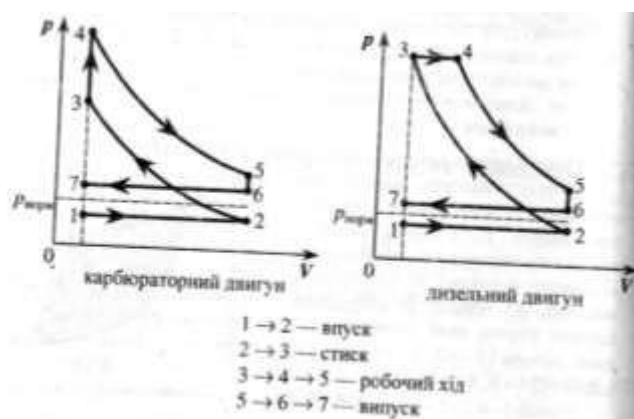
- Ідеальний (для циклу Карно): $\eta_{io} = \frac{T_1 - T_2}{T_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1}$.
- Термічний (для будь-якого циклу): $\eta_{тер} = \frac{A'}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}$.
- Реальний (дійсний) η : $\eta \ll \eta_{тер} \ll \eta_{io}$.

Висновки:

- ККД визначається лише T_1 і T_2 та не залежить від роду робочої речовини.
- Способи підвищення ККД: а) збільшити T_1 , зменшити T_2 ;
б) збільшити тиск робочого тіла.
в) добитись повнішого згоряння палива
г) зменшити тертя.
- ККД < 1. Якщо $T_1 = T_2$ - двигун не працює.

Теплова машина	Робоче тіло	Температура, K		Теоретичний ККД, % (за циклом Карно)	Реальний, %
		нагрівника	холодильника		
Поршнева парова машина	Водяна пара	480	300	37	7...15
Парова турбіна	Водяна пара	850	380	55	20...25
Бензиновий (карбюраторний) двигун	Продукти згоряння	2100	380	82	18...24
Дизельний двигун	Продукти згоряння	2100	380	82	30...39

Двигун внутрішнього згоряння — теплова машина, в якій робоче тіло нагрівається внаслідок виділення теплоти під час хімічної реакції всередині замкнутого об'єму (всередині двигуна), а робочим тілом є суміш повітря з продуктами згоряння.



Найбільш поширеним є використання теплових двигунів на теплових і атомних електростанціях, на транспорті тощо. В автомобілях застосовують карбюраторні та дизельні двигуни внутрішнього згорання. На залізничному транспорті використовують тепловози, обладнані дизельними установками, та електровози. Силові установки водних транспортних засобів також належать до різного типу теплових двигунів. В авіації на легкі літаки встановлюють поршневі двигуни, а на лайнери — реактивні та турбореактивні. Застосування теплових двигунів в певній мірі негативно впливає на екологічний стан зовнішнього середовища. Порушується тепловий баланс, відпрацьовані речовини забруднюють поверхню Землі та атмосферу.