

# Термодинам іса

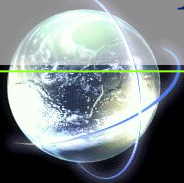
*Для студентів I курсу спеціальності “Монтаж і експлуатація електроустановування підприємств і ЦС”*



# Термодинама

## Мета:

- ознайомитись із молекулярно-кінетичним трактуванням понять внутрішньої енергії, роботи;
- встановити зв'язок між зміною внутрішньої енергії системи, роботою й кількістю теплоти, переданої системі;
- отримати початкові уявлення про закон збереження енергії в теплових процесах



# План заняття:

1. Внутрішня енергія
2. Способи зміни внутрішньої енергії
3. Внутрішня енергія ідеального газу
4. Внутрішня енергія багатоатомного газу
5. Зміна внутрішньої енергії при нагріванні та плавленні, пароутворенні, конденсації і горінні палива, а також при виконанні роботи
6. Закони термодинаміки, застосування I закону до ізопроцесів
7. Обчислення роботи при розширенні газу (ізобарний процес)



# Термодинаміс

а -

це розділ фізики, що

вивчає теплові явища

без урахування будови тіла



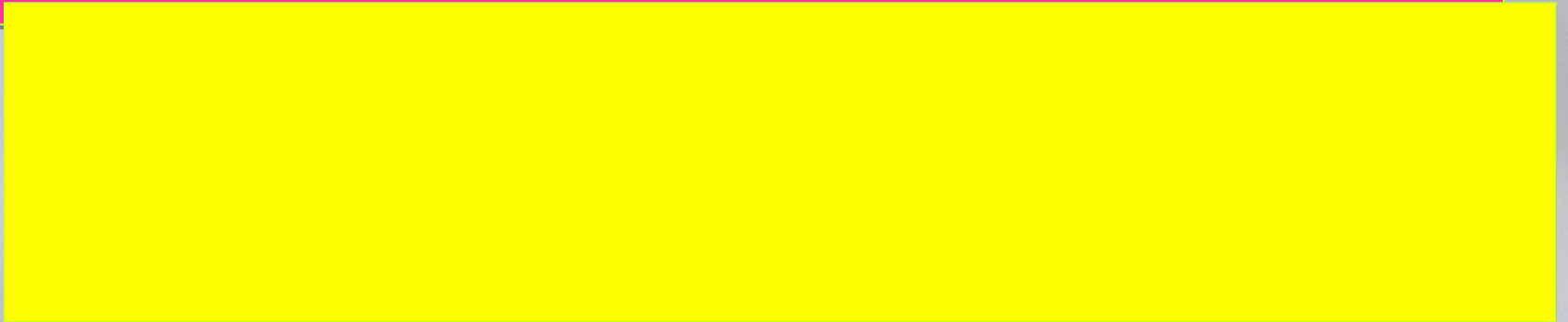
## **Внутрішньою енергією речовини $U$**

називається сума кінетичної енергії хаотичного руху всіх частинок, що входять до складу тіла, і потенціальної енергії їх взаємодії

Позначається внутрішня енергія:  $U$

Одиниці вимірювання внутрішньої енергії:

$$[U] = [1 \text{ Дж}]$$



## Задача 1. Яка внутрішня енергія 5 моль кисню при 10 °С?

Дано:

$$\nu = 5 \text{ моль}$$

$$t = 10 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$R = 8,31 \text{ Дж/моль} \cdot \text{K}$$

U - ?

“СІ”

$$283 \text{ K}$$

Кисень  $\text{O}_2$  – двоатомний газ

$$U = \frac{5}{2} \frac{m}{\mu} RT,$$

$$\nu = \frac{m}{\mu}$$

$$U = \frac{5}{2} \nu RT.$$

$$U = \frac{5}{2} \cdot 5 \text{ моль} \cdot 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{K}} \cdot 283 \text{ K} =$$

$$= 1038,75 \text{ Дж} \approx 1,04 \text{ кДж}.$$

**Відповідь: U = 1,04 кДж**

**Задача 2.** Яка внутрішня енергія гелію, що заповнює аеростат об'ємом  $50 \text{ м}^3$  при тиску  $80 \text{ кПа}$ ?

Дано:

“СІ”

$$V = 50 \text{ м}^3$$

$$p = 80 \text{ кПа}$$

$U = ?$

$$8 \cdot 10^4 \text{ Па}$$

$$U = \frac{3}{2} \frac{m}{M} RT$$

$$pV = \frac{m}{M} RT$$

- рівняння  
Клапейрона-Менделєєва

$$U = \frac{3}{2} pV.$$

$$U = \frac{3 \cdot 8 \cdot 10^4 \text{ Па} \cdot 50 \text{ м}^3}{2} = 6 \cdot 10^6 \text{ Дж} = 6 \text{ МДж}.$$

**Відповідь:  $U = 6 \text{ МДж}$**



Та частина внутрішньої енергії, яку тіло втрачає або отримує при теплопередачі, має назву *кількість теплоти*  $Q$ .

Позначається:  $Q$  – *кількість теплоти*

Одиниці вимірювання кількості теплоти :

$$[Q] = [1 \text{ Дж}]$$



# Способи зміни внутрішньої енергії

```
graph TD; A[Способи зміни внутрішньої енергії] --> B[Теплообмін (теплопередача)]; A --> C[Виконання роботи]; B --> D[конвекція]; B --> E[випромінювання]; B --> F[теплопровідність];
```

Теплообмін  
(теплопередача)

Виконання  
роботи

конвекція

випромінювання

теплопровідність

**Застосування  
в техніці**

**сушіння і нагрів  
матеріалів**



**пристрої нічного  
бачення ( біноклі,  
оптичні приціли)**



**створення системи  
самонаведення на  
ціль снарядів і ракет**



$$e = mc^2$$

## Таблиця: Способи зміни внутрішньої енергії

Механічна робота (подолання тертя, деформація, дроблення тіл, тощо)		$A = Fs \cdot \cos \alpha$
Т Е П Л О П Е Р Е Д А Ч А	Нагрівання і охолодження тіл	$\Delta U = Q = cm(T_2 - T_1)$
	Плавлення і твердіння речовин	$\Delta U = Q = \lambda m$
	Пароутворення і конденсація	$\Delta U = Q = rm$
	Горіння палива	$\Delta U = Q = qm$

*питома теплоємність речовини:*

$$[c] = \left[ 1 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}} \right]$$

*питома теплота плавлення речовини:*

$$[\lambda] = \left[ 1 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}} \right]$$

*питома теплота пароутворення речовини:*

$$[r] = \left[ 1 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}} \right]$$

*питома теплота горіння палива:*

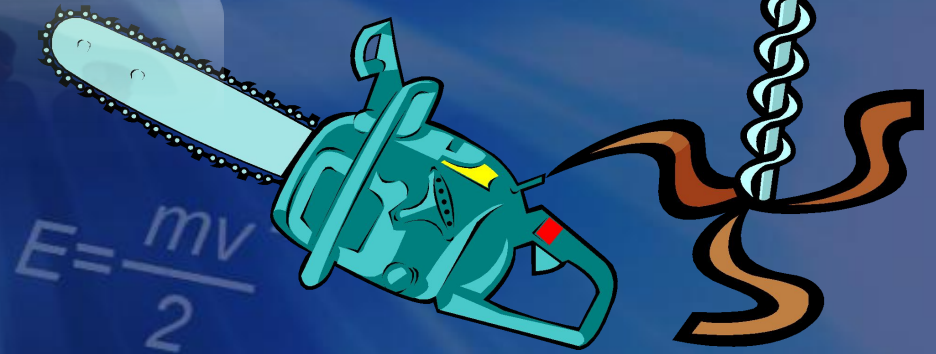
$$[q] = \left[ 1 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}} \right]$$

$$e = mc^2$$

**Виконання роботи** – процес зміни внутрішньої енергії системи, що пов'язана із переміщенням її частинок одна відносно одної.

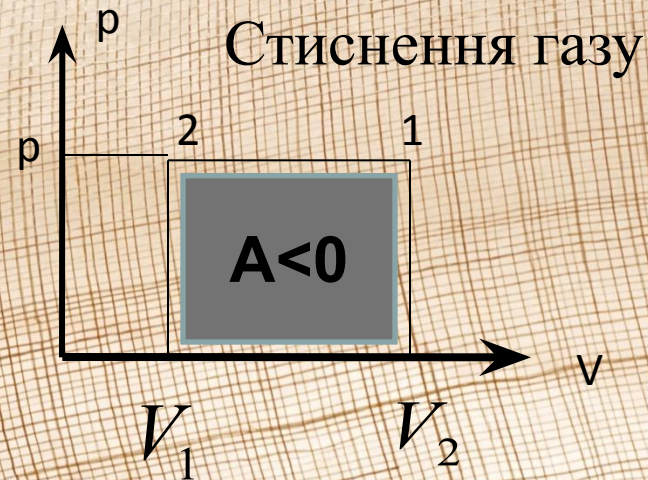
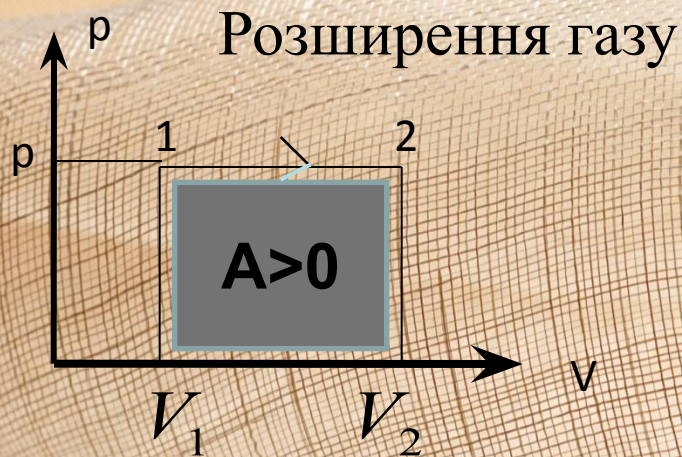


При роботі тіла нагріваються!



$$E = \frac{mv^2}{2}$$

**Робота газу** чисельно дорівнює **площі** фігури під графіком залежності тиску від об'єму **в координатах  $p, V$**



$$A_{\Gamma} = p \cdot (V_2 - V_1) = p \cdot \Delta V - \text{робота газу}$$

$$A_{\text{зовн}} = -A_{\Gamma} = -p \cdot \Delta V - \text{робота зовнішніх сил}$$

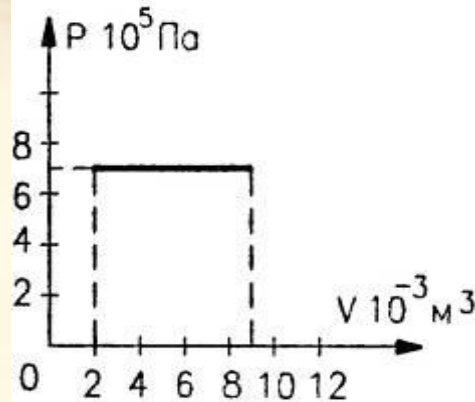
### Задача 3.

На рисунку зображений графік залежності тиску газу від об'єму. Визначити роботу газу при його розширенні

Дано:

$$p = 7 \cdot 10^5 \text{ Па}$$
$$V_1 = 2 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$$
$$V_2 = 9 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$$

$A'$  -?



Газ розширюється ізобарно, тому робота газу:

$$A' = p \cdot \Delta V = p \cdot (V_2 - V_1).$$

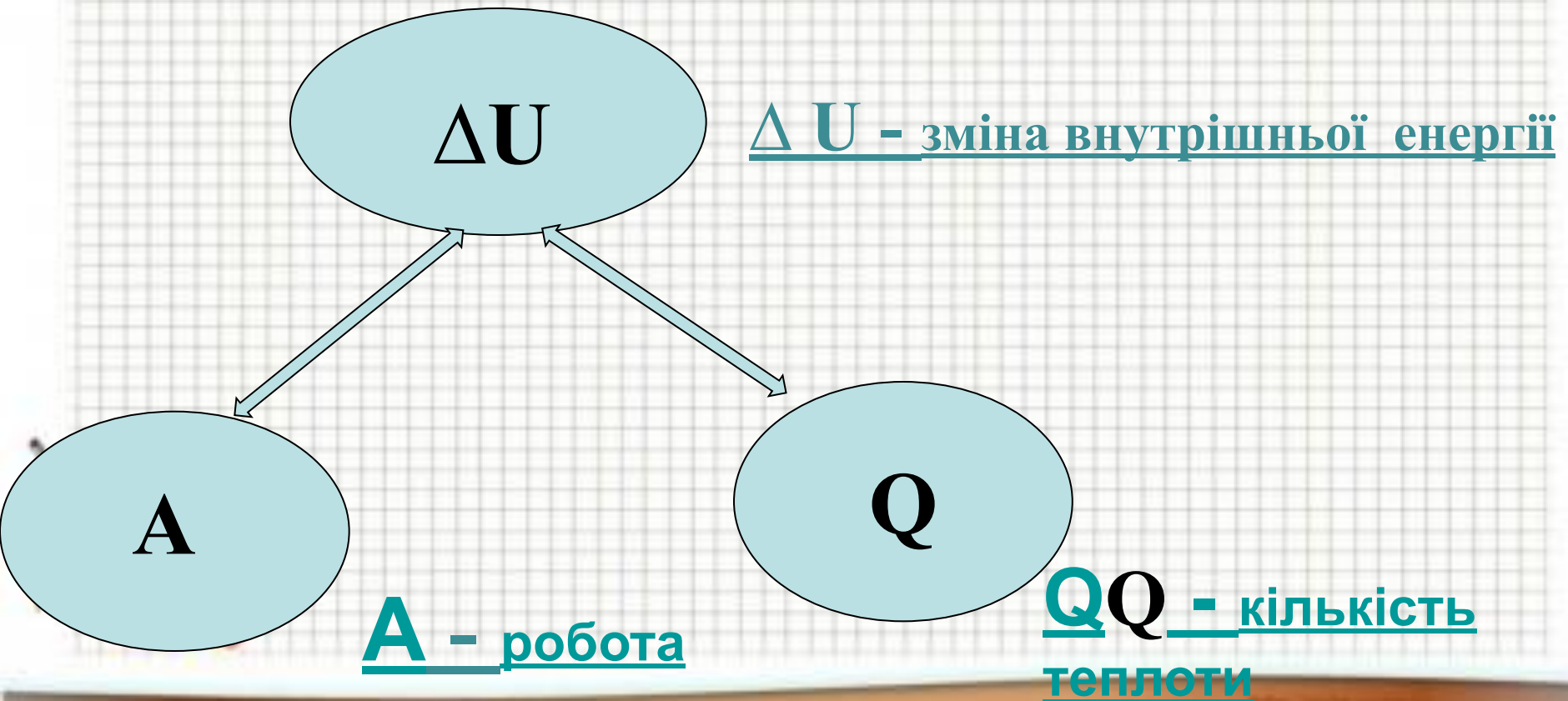
$$A' = 7 \cdot 10^5 \text{ Па} \cdot (9 - 2) \cdot 10^{-3} \text{ м}^3 =$$
$$= 49 \cdot 10^2 \text{ Дж} = 4,9 \text{ кДж}.$$

**Відповідь:  $A' = 4,9 \text{ кДж}$**



# Способи зміни внутрішньої енергії

Закон збереження та перетворення енергії, що поширюється на теплові явища, має назву **першого закону термодинаміки**.



# Перший закон термодинаміки

$A_{\text{зовн}}$  - робота  
зовнішніх  
сил;

$Q$  - кількість  
теплоти;

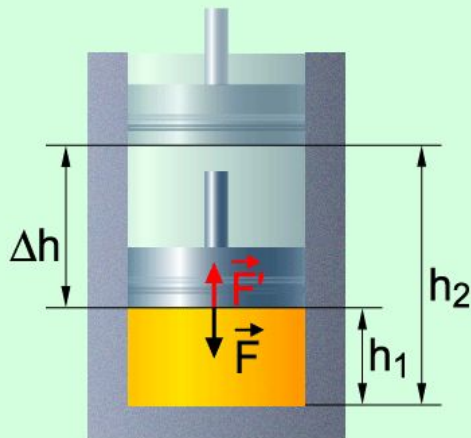
$\Delta U$  - зміна  
внутрішньої  
енергії;

$$\Delta U = Q + A_{\text{зовн}}$$

*В термодинамічній системі зміна внутрішньої енергії дорівнює сумі кількості переданої теплоти та роботі зовнішніх сил.*

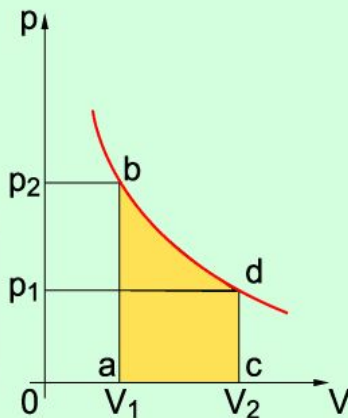
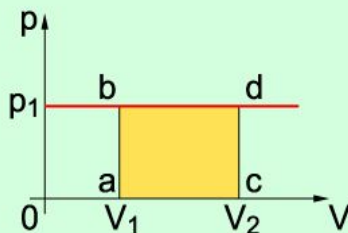


# Робота, що виконується газом та І закон термодинаміки



$$A' = F' \Delta h = pS(h_2 - h_1) = p(S h_2 - S h_1)$$

$$A' = p(V_2 - V_1) = p \Delta V$$



$$Q = \Delta U + A$$

*Кількість теплоти, яка передана системі, йде на зміну її внутрішньої енергії та на виконання системою роботи над зовнішніми тілами.*

$$\Delta U = Q + A_{\text{зовн}}; A_{\text{зовн}} = F_{\text{зовн}} \cdot h,$$

$$F' = -F_{\text{зовн}}, \text{ ТОБТО } A_{\text{зовн}} = -A,$$

звідки:  $(A' = A, F' = F)$



**Задача 4.** У закритому балоні знаходиться газ. При його охолодженні внутрішня енергія зменшилася на 500 Дж. Яку кількість теплоти віддав газ? Чи виконав він роботу?

Дано:  
 $\Delta U = -500 \text{ Дж}$

$Q = ?$   
 $A' = ?$

Газ знаходиться в закритому балоні, тобто, об'єм газу не змінюється, іншими словами  $V = \text{const}$  та  $\Delta V = 0$ .

Газ роботу не виконує, так як

$$A' = p\Delta V \Rightarrow A' = 0.$$

За I законом термодинаміки:  $Q = A' + \Delta U \Rightarrow Q = \Delta U$ .

Таким чином, при зміні внутрішньої енергії газ віддає

кількість теплоти, яка дорівнює  $Q = -500 \text{ Дж}$  (знак «-» показує, що газ виділяє кількість теплоти).

**Відповідь:**  $Q = -500 \text{ Дж}$ ;  $A' = 0$ .

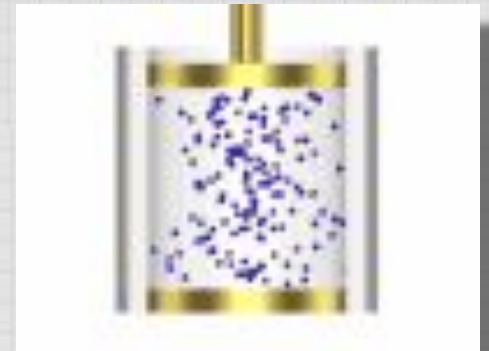
# Адіабатний процес

- **Теплоізольована система** – це система, яка не обмінюється енергією з навколишніми тілами.
- **Адіабатний процес** – це процес зміни термодинамічної системи без теплообміну із зовнішнім середовищем,  $Q = 0$

$$Q = \Delta U + A$$



Адіабатична хмарка за літаком



Наприклад. у циліндрах дизельних двигунів, де повітря внаслідок швидкого стискання нагрівається до високої температури; охолоджується фреон у холодильних установках внаслідок його розширення. Адіабатне охолодження відбувається в атмосфері Землі, коли нагріте повітря, швидко піднімаючись вгору, розширюється, в результаті чого водяна пара конденсується й утворюються хмари.

# ТЕРМОДИНАМІКА

## Перший закон термодинаміки

$$Q = A + \Delta U$$

Кількість тепла  $Q$ , що надана газу, йде на виконання роботи  $A$  та на зміну внутрішньої енергії  $\Delta U$ .

### Ізобарний процес



$$p = \text{const}$$
$$m = \text{const}$$

$$Q = A + \Delta U$$

$$A = p \Delta V$$

$$\Delta U = \frac{3}{2} \frac{m}{M} R \Delta T$$

### Ізохорний процес

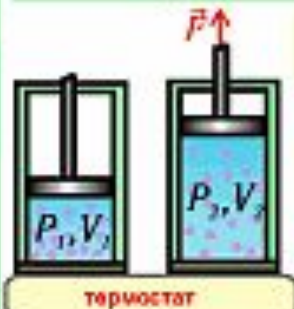


$$V = \text{const}$$
$$m = \text{const}$$

$$Q = \Delta U$$

$$A = 0$$

### Ізотермічний процес

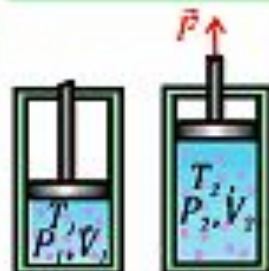


$$T = \text{const}$$
$$m = \text{const}$$

$$Q = A$$

$$\Delta U = 0$$

### Адіабатний процес



$$Q = 0$$
$$m = \text{const}$$

$$A = -\Delta U$$

$$\Delta U = \frac{3}{2} \frac{m}{M} R \Delta T$$

для одноатомного газу

## Застосування I закону ТД до ізопроеів

Процес зміни стану газу	Одержана кількість теплоти, $Q$	Виконана робота, $A$	Зміна внутрішньої енергії, $\Delta U$	Перший закон термодинаміки	Формулювання першого закону ТД
Ізотермічне розширення $T = \text{const}$	$Q > 0$	$A > 0$	$\Delta U = 0$	$Q = A$	Уся передана газу кількість теплоти йде на виконання ним роботи
Ізобарне розширення $P = \text{const}$	$Q > 0$	$A > 0$	$\Delta U > 0$	$Q = \Delta U + A$	Підведена до газу кількість теплоти йде на зміну його внутрішньої енергії і виконання роботи
Ізохорне нагрівання $V = \text{const}$	$Q > 0$	$A = 0$	$\Delta U > 0$	$Q = \Delta U$	Уся підведена до газу кількість теплоти йде на зміну його внутрішньої енергії
Адіабатне розширення	$Q = 0$	$A > 0$	$\Delta U < 0$	$A = -\Delta U$	При розширенні газу виконується робота за рахунок внутрішньої енергії газу

**Задача 5.** Яку роботу виконує ідеальний газ в кількості 2 моля при його ізобарному нагріванні на 5 °С?

Дано:  
 $\nu = 2$  моль  
 $p = \text{const}$   
 $\Delta t = 5^\circ\text{C}$   
 $R = 8,31$  Дж/моль·К

“СІ”

$\Delta T = 5$  К

$$A' = p\Delta V$$

$$pV_1 = \frac{m}{M}RT_1; pV_2 = \frac{m}{M}RT_2$$

$$pV_2 - pV_1 = \frac{m}{M}R(T_2 - T_1)$$

$$p\Delta V = \frac{m}{M}R\Delta T \Rightarrow A' = \frac{m}{M}R\Delta T$$

$$\nu = \frac{m}{M}$$

$$A' = \nu R\Delta T$$

$$A' = 2 \text{ моль} \cdot 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \cdot 5 \text{ К} = 83,1 \text{ Дж}$$

Відповідь:  $A' = 83,1$  Дж



# Домашнє завдання



1. Виконати в зошиті опорний конспект із теми “Термодинаміка”.
2. Розібрати письмово 5 задач із презентації.

