

Перший закон термодинаміки. Адіабатний процес

У середині XIX ст. Джеймс Джоуль (1818-1889), Юліус фон Маєр (1814-1878) і Герман фон Гельмгольц (1821-1894), спираючись на проведені досліди, встановили закон, згідно з яким *в замкнутій фізичній системі енергія нікуди не зникає і нізвідки не виникає, вона лише перетворюється з одного виду на інший і є величиною сталою*. Це твердження, як ми вже знаємо, називають *законом збереження і перетворення енергії*. Чи можна цей закон застосувати і до теплових процесів?

Перший закон термодинаміки

Перший закон (начало) термодинаміки:

Зміна внутрішньої енергії системи (ΔU) у випадку переходу з одного стану в інший дорівнює сумі роботи зовнішніх сил (A') і кількості теплоти (Q), переданої системі.

$$\Delta U = Q + A'$$

Якщо система одержує певну кількість теплоти, то в наведеній формулі Q беруть зі знаком «+», якщо віддає, то зі знаком «-».

$$A' = -A$$

A' – робота зовнішніх сил (робота над газом)

A – робота проти зовнішніх сил (робота газу)

Перший закон (начало) термодинаміки:

Кількість теплоти Q , передана системі, йде на зміну внутрішньої енергії системи (ΔU) та на виконання системою роботи A проти зовнішніх сил.

$$Q = \Delta U + A$$

- Чи можливо створити вічний двигун?

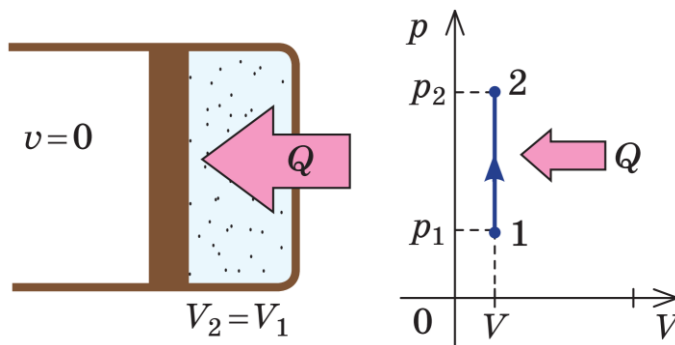
Згідно з першим законом термодинаміки *неможливо створити вічний двигун першого роду* – циклічний пристрій, який виконував би механічну роботу без споживання енергії ззовні або виконував би роботу більшу, ніж споживана ним енергія.

Перший закон термодинаміки ($Q = \Delta U + A$) для ізопроеців

Ізохорний процес

$$m = \text{const}; V = \text{const}; \Delta V = 0; A = 0 \quad \Rightarrow \quad Q = \Delta U$$

При ізохорному процесі вся передана газу кількість теплоти витрачається на збільшення внутрішньої енергії газу.



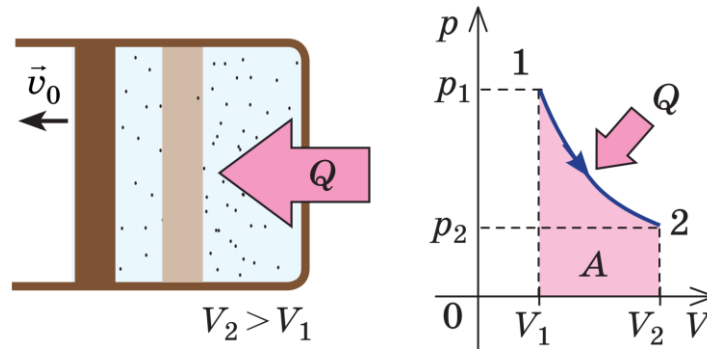
Якщо газ ідеальний одноатомний, то кількість теплоти, передана газу, дорівнює:

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

Ізотермічний процес

$$m = \text{const}; T = \text{const}; \Delta T = 0; \Delta U = 0 \quad \Rightarrow \quad Q = A$$

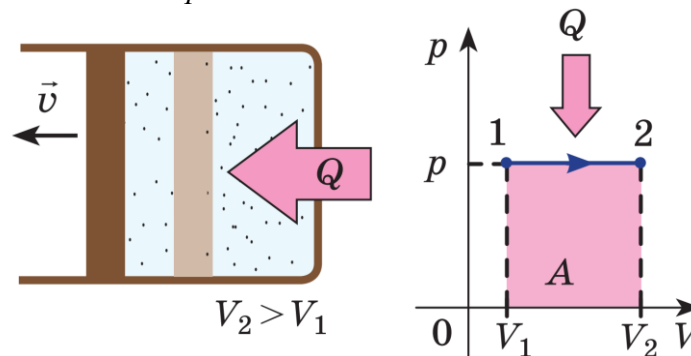
При ізотермічному процесі вся передана газу кількість теплоти йде на виконання механічної роботи.



Ізобарний процес

$$m = \text{const}; p = \text{const}; \Delta p = 0 \Rightarrow Q = \Delta U + A$$

При ізобарному процесі передана газу кількість теплоти йде і на збільшення внутрішньої енергії газу, і на виконання механічної роботи.



Якщо газ ідеальний одноатомний, то кількість теплоти, передана газу, дорівнює:

$$A = p\Delta V \quad \Delta U = \frac{3}{2}p\Delta V$$

$$Q = \Delta U + A = \frac{3}{2}p\Delta V + p\Delta V = \frac{5}{2}p\Delta V \quad \text{або} \quad Q = \frac{5}{2} \frac{m}{M} R \Delta T$$

Адіабатний процес

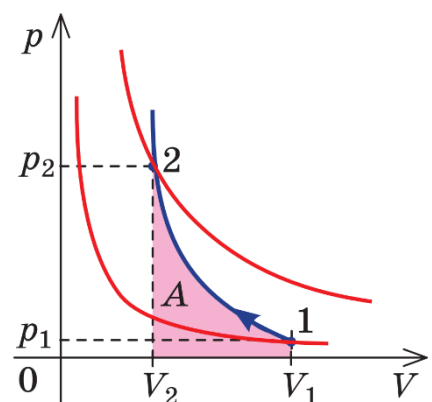
Адіабатний процес – це процес, який відбувається без теплообміну з навколишнім середовищем.

$$\Delta U + A = 0 \quad \text{або} \quad A = -\Delta U$$

У ході адіабатного розширення газ виконує додатну роботу за рахунок зменшення внутрішньої енергії, при цьому температура газу зменшується.

$p = nkT$, у разі адіабатного стиснення тиск газу зростає набагато швидше, ніж у разі ізотермічного, адже одночасно зі збільшенням концентрації молекул газу збільшується і його температура (синій – адіабата, червоний – ізотерми).

В разі адіабатного розширення тиск падає швидше, ніж у разі ізотермічного, адже одночасно зменшуються і концентрація, і температура газу



У реальних умовах процес, близький до адіабатного, можна здійснити, якщо газ міститиметься всередині деякої оболонки з дуже хорошими термоізоляційними властивостями.

Адіабатними можна вважати й процеси, які відбуваються дуже швидко, тому що в такому випадку газ не встигає обмінятися теплотою з навколишнім середовищем (наприклад, розширення і стиснення повітря в ході поширення звукових хвиль; розширення газу під час вибуху).

Збільшення температури внаслідок різкого стиснення повітря використовується в дизельному двигуні, в якому відсутня система запалювання пальної суміші.

1. Під час нагрівання газу його внутрішня енергія збільшилася на 600 Дж, при цьому він виконав роботу 200 Дж. Яку кількість тепла передали газу?

Дано:

$$\Delta U = 600 \text{ Дж}$$

$$A = 200 \text{ Дж}$$

$$Q = ?$$

Розв'язання

A – робота проти зовнішніх сил (робота газу)

Перший закон (начало) термодинаміки:

$$Q = \Delta U + A$$

$$[Q] = \text{Дж} + \text{Дж} = \text{Дж}$$

$$Q = 600 + 200 = 800 \text{ (Дж)}$$

Відповідь: $Q = 800 \text{ Дж}$.

2. Над ідеальним газом виконано роботу 200 Дж, при цьому його внутрішня енергія збільшилася на 500 Дж. Знайдіть кількість теплоти, підведену до газу, у ході цього процесу.

Дано:

$$A' = 200 \text{ Дж}$$

$$\Delta U = 500 \text{ Дж}$$

$$Q = ?$$

Розв'язання

A' – робота зовнішніх сил (робота над газом)

Перший закон (начало) термодинаміки:

$$\Delta U = Q + A' \Rightarrow Q = \Delta U - A'$$

$$[Q] = \text{Дж} - \text{Дж} = \text{Дж}$$

$$Q = 500 - 200 = 300 \text{ (Дж)}$$

Відповідь: $Q = 300 \text{ Дж}$.

3. Газу передають кількість теплоти 7 кДж, 60 % якої пішло на збільшення внутрішньої енергії газу. Знайдіть роботу, виконану газом.

Дано:

$$Q = 7 \text{ кДж}$$

$$= 7 \cdot 10^3 \text{ Дж}$$

$$\Delta U = 0,6Q$$

$$A = ?$$

Розв'язання

Перший закон (начало) термодинаміки:

$$Q = \Delta U + A \Rightarrow A = Q - \Delta U = Q - 0,6Q = 0,4Q$$

$$A = 0,4 \cdot 7 \cdot 10^3 \text{ Дж} = 2,8 \cdot 10^3 \text{ Дж}$$

Відповідь: $A = 2,8 \text{ кДж}$.

4. 1 моль ідеального одноатомного газу при адіабатичному розширенні виконав роботу 249 Дж. Як змінилася: а) внутрішня енергія газу; б) температура газу?

Дано:

$$\nu = 1 \text{ моль}$$

$$A = 249 \text{ Дж}$$

$$\Delta U = ?$$

$$\Delta T = ?$$

Розв'язання

Перший закон (начало) термодинаміки:

$$Q = \Delta U + A \quad Q = 0$$

$$\Delta U = -A = -249 \text{ Дж}$$

$$\Delta U = \frac{3}{2} \nu R \Delta T \Rightarrow \Delta T = \frac{2 \Delta U}{3 \nu R}$$

$$[\Delta T] = \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}} = \text{К}$$

$$\Delta T = \frac{2}{3} \cdot \frac{-249}{1 \cdot 8,31} \approx -20 \text{ (К)}$$

Відповідь: а) зменшилася на 249 Дж; б) знизилася на 20 К.

5. В ході адіабатичного стисання 1 кг аргону виконано роботу 0,1 МДж. Визначте кінцеву температуру газу, якщо його початкова температура 27 °С.

Дано:

$$m = 1 \text{ кг}$$

$$A' = 0,1 \text{ МДж} = 10^5 \text{ Дж}$$

$$T_1 = (27 + 273) \text{ К}$$

Розв'язання

Перший закон (начало) термодинаміки:

$$\Delta U = Q + A' \quad Q = 0$$

$$= 300 \text{ K}$$

$$M = 40 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{моль}}$$

$$T_2 = ?$$

$$A' = \Delta U = \frac{3}{2} \frac{m}{M} R (T_2 - T_1)$$

$$T_2 = \frac{2}{3} \frac{A' M}{m R} + T_1 \quad [T_2] = \frac{\text{Дж} \cdot \frac{\text{кг}}{\text{моль}}}{\text{кг} \cdot \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}} + \text{К} = \text{К}$$

$$T_2 = \frac{2}{3} \cdot \frac{10^5 \cdot 40 \cdot 10^{-3}}{1 \cdot 8,31} + 300 \approx 621 \text{ (K)}$$

Відповідь: $T_2 \approx 621 \text{ K}$.

6. У результаті теплопередачі ідеальний газ отримує кількість теплоти, що дорівнює 100 кДж, і виконує роботу 5000 Дж. Знайдіть початкове значення внутрішньої енергії газу, якщо в ході процесу його температура зросла в 6 разів.

Дано:

$$Q = 100 \text{ кДж} = 10^5 \text{ Дж}$$

$$A = 5 \cdot 10^3 \text{ Дж}$$

$$T_2 = 6T_1$$

$$U_1 = ?$$

Розв'язання

Перший закон (начало) термодинаміки:

$$Q = \Delta U + A$$

$$U_1 = \frac{3}{2} \nu R T_1 \quad U_2 = \frac{3}{2} \nu R T_2 = \frac{3}{2} \nu R \cdot 6T_1$$

$$\Delta U = \frac{3}{2} \nu R \cdot 5T_1$$

$$\Delta U = 5U_1$$

$$Q = 5U_1 + A \quad \Rightarrow \quad U_1 = \frac{1}{5} (Q - A)$$

$$[U_1] = \text{Дж} - \text{Дж} = \text{Дж}$$

$$U_1 = \frac{1}{5} \cdot (10^5 - 5 \cdot 10^3) = 19 \cdot 10^3 (\text{Дж})$$

Відповідь: $U_1 = 19 \text{ кДж}$.